

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN**

**INFORME DE CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL**

**TEMA:**

**“DISEÑO DE UN ENLACE DE BACKUP DE ALTA CAPACIDAD EN LA RED  
IP/MPLS DE TELCONET PARA LA CIUDAD DE ESMERALDAS”**

**RODRIGO SEBASTIAN TAPIA CAIZA**

**Quito – 2016**

## **AUTORÍA**

Yo, Rodrigo Sebastián Tapia Caiza, portador de la cédula de ciudadanía No.1715050033, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

---

Rodrigo Sebastián Tapia Caiza

## Tabla de Contenidos

AUTORÍA.....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. JUSTIFICACIÓN .....	8
3. ANTECEDENTES .....	9
4. OBJETIVOS .....	10
4.1. Objetivo General. ....	10
4.2. Objetivos Específicos.....	10
5. DISEÑO DE UN ENLACE DE RESPALDO DE ALTA CAPACIDAD EN LA RED MPLS DE TELCONET PARA LA CIUDAD DE ESMERALDAS.....	11
5.1. Situación actual de la red de Telconet hacia la ciudad de Esmeraldas y sus dependencias.....	12
5.1.1. Transporte de datos a través de MPLS .....	12
5.1.2. Red actual hacia la ciudad de Esmeraldas .....	14
5.2. Análisis del tráfico de datos en la red IP/MPLS en la ciudad de Esmeraldas y sus cantones aledaños.....	16
5.2.1. Análisis de tráfico en rolesmeraldas .....	18
5.2.2. Análisis de tráfico en ro1tonsupa.....	19
5.3. Alternativas para el enlace de respaldo hacia la red MPLS de Esmeraldas.....	19
5.4. Enlace microondas .....	22
5.4.1. Medio de trasmisión.....	22
5.4.2. Transmisor .....	23
5.4.3. Receptor .....	23
5.4.4. Antena .....	24
5.4.5. Torre de Telecomunicaciones .....	24
5.4.6. Línea de vista .....	26
5.4.7. Espacio Libre .....	26
5.4.8. Zona de Fresnel.....	27
5.4.9. Sensibilidad del receptor.....	28
5.4.10. Presupuesto de enlace.....	28
5.5. Diseño del enlace microondas.....	29
5.5.1. Ubicación de los sitios del enlace microondas .....	30
5.5.2. Frecuencia portadora para el enlace microondas .....	31
5.5.3. Análisis de factibilidad del enlace microondas.....	35
5.5.4. Elección de los equipos de radio.....	46
5.5.5. Esquema de conexión del enlace de respaldo .....	57
5.5.6. Conmutación del enlace de respaldo.....	58
5.6. Presupuesto referencial para la implementación del enlace microondas .....	59
5.7. Análisis financiero.....	62
6. CONCLUSIONES .....	63
7. RECOMENDACIONES .....	64
8. REFERENCIAS.....	66

### Lista de tablas

Tabla 1. Distancias de las rutas de fibra óptica hacia Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	15
Tabla 2. Distribución de Switching de la Metro-Ethernet de Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	17
Tabla 3. Bandas de Frecuencia para enlaces microondas «Elaborado por Rodrigo Tapia» ....	23
Tabla 4. Variables de la ecuación para el cálculo de la tarifa de uso de frecuencia «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	34
Tabla 5. Variables para el cálculo de la tarifa por el derecho de concesión. «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	35
Tabla 6. Cuadro Comparativo Radios Microondas «Elaborado por Rodrigo Tapia».....	47
Tabla 7. Modulación - Relación Señal a Ruido «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	49
Tabla 8. Parámetros de configuración para el enlace microondas «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	55
Tabla 9. Presupuesto referencial para la implementación del enlace microondas. «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	60
Tabla 10. Gastos administrativos personal técnico «Elaborado por Rodrigo Tapia».....	61
Tabla 11. Tarifa por uso de frecuencias durante dos años «Elaborado por Rodrigo Tapia» ...	61
Tabla 12. Presupuesto Referencial Total «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	62
Tabla 13. Parámetros para el análisis financiero «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	62

## Lista de figuras

Figura 1. Ejemplo de una Red MPLS («MPLS (MultiProtocol Label Switching)», s. f.).....	13
Figura 2. Red actual de Telconet hacia la ciudad de Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	15
Figura 3. Análisis de tráfico mensual ro1Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia».....	18
Figura 4. Análisis de tráfico mensual Ro1tonsupa «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	19
Figura 5. Espectro Electromagnético («Espectro electromagnético - Wikipedia, la enciclopedia libre», s. f.).....	22
Figura 6. Esquema de torre auto soportada («.:Neptuno:..», s. f.).....	25
Figura 7. Esquema de torre de vientos o arriostrada («http://www.televes.com»).....	26
Figura 8. Primera Zona de Fresnel («Zona de Fresnel - Wikipedia, la enciclopedia libre», s. f.).....	27
Figura 9. Presupuesto de enlace microondas .....	29
Figura 10. Ecuación para el cálculo de la tarifa de uso de frecuencia. ....	33
Figura 11. Ecuación para el cálculo de la tarifa por el derecho de concesión. ....	34
Figura 12. Ubicación de sitios en Google Earth «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	36
Figura 13. Frecuencia de Transmisión - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	37
Figura 14. Pérdida en la ruta - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	38
Figura 15. Cálculo de la ganancia de una antena - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	39
Figura 16. Cálculo de la línea de vista - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	40
Figura 17. Línea de vista - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	41
Figura 18. Token de acceso - LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	42
Figura 19. Ingreso de sitio nuevo - LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	43
Figura 20. Coordenada Site 1 Los Bancos – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»..	43
Figura 21. Coordenada Site 2 Cerro Zapallo – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	43
Figura 22. New Link – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia».....	44
Figura 23. PTP Links – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	44
Figura 24. Modificación de parámetros – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia».....	45
Figura 25. Antenas – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	45
Figura 26. Performance – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia».....	45
Figura 27. Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (ABC) (1).....	51
Figura 28. Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (ABC) (2).....	51
Figura 29. Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (ABC) (3).....	52
Figura 30. Adaptive Coding Modulation (ACM) .....	52
Figura 31. Cross Polarization Interference Canceller (XPIC) .....	53
Figura 32. Esquema de instalación del radio PTP 820C.....	54
Figura 33. Antena Radio Waves («Radio Waves Inc.», s. f.).....	55
Figura 34. Link Planner PTP 820C «Elaborado por Rodrigo Tapia».....	56
Figura 35. Link Planner PTP 820C Línea de Vista «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	56
Figura 36. Link Planner PTP 820C Rendimiento del Enlace «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	56
Figura 37. Esquema de Conexión del enlace microondas de respaldo «Elaborado por Rodrigo Tapia» .....	58

## 1. INTRODUCCIÓN

Las Telecomunicaciones se basan en la transmisión y recepción de diferentes tipos de señales con el objetivo de intercambiar información a cortas y grandes distancias siendo hoy en día uno de los factores sociales y económicos más importantes a nivel mundial.

Esta gran relevancia de las Telecomunicaciones en la sociedad ha provocado que los servicios prestados por una empresa de Telecomunicaciones deban ser de alta calidad y disponibilidad para mantener a los clientes satisfechos.

Telconet es una de las empresas privadas que brindan servicios de Telecomunicaciones a nivel nacional y que tiene su fortaleza en su infraestructura de fibra óptica para sus anillos de Backbone y de Última Milla.

El despliegue de la red se ha incrementado conforme la demanda lo ha exigido, llegando a todas las ciudades importantes del País siendo una de ellas la ciudad de Esmeraldas, ubicada en la región Costa del Ecuador. La demanda en esta ciudad y de sus cantones vecinos cada vez es mayor y con ello la responsabilidad de la empresa de brindar un servicio confiable a todos sus clientes.

El medio de transmisión por el cual se brinda el servicio de Telecomunicaciones a la ciudad de Esmeraldas es la Fibra Óptica, infraestructura que necesita de un considerable número de repetidores desde el nodo principal ubicado en Santo Domingo de los Tsáchilas hasta llegar a la ciudad de Esmeraldas pasando por algunas ciudades como La Concordia, La Unión y Quinindé, esta gran distancia y el número de estaciones repetidoras llamadas “nodos” incrementa la posibilidad de daños en la red.

Considerando el compromiso de la empresa por brindar un servicio eficiente y confiable existe el requerimiento de un enlace de respaldo o Backup para la ciudad de Esmeraldas y para ello se tendrá en consideración un enlace de Radio Microondas de alta capacidad operando en banda de frecuencia licenciada. Este enlace deberá ser capaz de conmutar

automáticamente al presentarse un problema con el enlace de Fibra Óptica y volver a conmutar al restablecerse el enlace de fibra óptica.

En el presente documento se encontrará un análisis de la situación actual de la red de Telconet hacia la ciudad de Esmeraldas incluyendo la demanda que los clientes generan. Con este análisis se establecerá la capacidad del enlace de Backup y los elementos requeridos para su implementación.

Se determina también el sistema por el cual el enlace de Backup diseñado podrá realizar una conmutación automática en un tiempo tal que no afecte al servicio brindado por la empresa a cada uno de sus clientes en la ciudad de Esmeraldas y sus cantones aledaños.

## 2. JUSTIFICACIÓN

El compromiso que tiene la empresa para dar un servicio confiable de Telecomunicaciones a sus clientes se ve muchas veces afectado por problemas externos sobre la infraestructura de la fibra óptica.

La fibra óptica que Telconet utiliza es aérea, es decir, que está montada sobre postes por las carreteras, terrenos incluso quebradas y pasando por varios nodos intermedios hasta llegar a la ciudad de Esmeraldas donde se despliega la Metro Ethernet para distribuir el servicio a los diferentes cantones que rodean esta gran ciudad.

Este tipo de infraestructura de la fibra óptica provoca que la probabilidad de producirse un daño en la ruta sea muy alta, por tal motivo la existencia de un enlace de respaldo o también llamado enlace de Backup es necesario para garantizar la disponibilidad del servicio a cada uno de los clientes.

Este enlace de Backup debe tener una ruta diferente al enlace principal y en esta ocasión se ha considerado no solo una ruta diferente sino un medio de transmisión diferente e independiente al enlace principal, siendo este un enlace de Radio Microondas Terrestre.

Un enlace Microondas a más de ser un medio más directo entre los dos puntos, es decir no necesita varios puntos de repetición o nodos para llegar al destino, también tiene menos exposición al público reduciendo la probabilidad de daño, siendo éstas, dos de las grandes ventajas de un medio de transmisión inalámbrico por microondas.

Para garantizar la estabilidad y capacidad en el enlace Microondas se ha considerado utilizar una banda de frecuencia licenciada.



### 3. ANTECEDENTES

Una red de fibra óptica aérea es tan vulnerable a circunstancias naturales como artificiales debido a su exposición a lo largo de su ruta. En la empresa se han reportado una gran cantidad de casos que han afectado a su red de fibra óptica en diferentes lugares y regiones del país, entre estos casos se pueden listar los siguientes:

- Accidentes de tránsito
- Deslizamientos de tierra
- Inundaciones o desbordamiento de ríos.
- Corte malintencionado del cable de fibra óptica
- Caída de árboles
- Tormentas eléctricas
- Incendios

El tiempo que toma en solventar estos problemas pueden ser desde unas pocas horas llegando a tardar días en el caso un desastre natural como lo sucedido en el mes de Enero del año 2016, por el fenómeno Del Niño se produjeron inundaciones, deslaves, colapso de postes e incluso vías destruidas por las fuertes lluvias presentadas en la temporada (Anexo A).

A pesar de que al momento de diseñar y montar la ruta de la fibra óptica se consideran muchos de los factores de riesgo mencionados reduciendo de esta manera las probabilidades de afectación en el servicio, no se puede evitar que esta pase por lugares de riesgos naturales y mucho menos que este expuesta a personas que, con mala intención o sin ella, realicen daños en la infraestructura de la red.

Sumados a los posibles daños sobre la red de fibra óptica están también los posibles riesgos que tienen en cada uno de los nodos intermedios necesarios para la implementación de la misma sobre grandes distancias, mencionando los siguientes como ejemplos:

- Pérdida de energía eléctrica, principal y de respaldo.

- Robo de equipos de Telecomunicaciones.
- Incendio o inundación del nodo.

Con la carencia de un enlace de respaldo los servicios dependientes de la ruta dañada se verían afectados provocando la desconformidad de los clientes y con ello grandes pérdidas económicas para la empresa, por esta razón, se ha tomado la decisión de implementar un enlace de respaldo con una tecnología diferente a la fibra óptica y de esta manera no solo los riesgos son diferentes sino que también son menores debido a que un enlace microondas no está expuesto al público en general como sucede con la red de fibra óptica.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo General.**

Definir el diseño de un enlace Backup de alta capacidad para a red IP/MPLS de Telconet en la ciudad de Esmeraldas con el fin de alcanzar alta disponibilidad en los servicios de Telecomunicaciones ofrecidos por la empresa.

### **4.2. Objetivos Específicos.**

- Describir la situación actual de la red de Telconet hacia la ciudad de Esmeraldas y sus dependencias.
- Analizar el tráfico de datos en la red IP/MPLS de Telconet en la ciudad de Esmeraldas y sus cantones aledaños.
- Estudiar las alternativas para la implementación de un enlace de Backbone de respaldo para la ciudad de Esmeraldas.
- Describir las características de un enlace microondas.
- Diseñar el enlace microondas de alta capacidad.
- Elaborar el presupuesto referencial para la implementación del enlace de respaldo.

## **5. DISEÑO DE UN ENLACE DE RESPALDO DE ALTA CAPACIDAD EN LA RED MPLS DE TELCONET PARA LA CIUDAD DE ESMERALDAS.**

La demanda de los servicios de Telecomunicaciones se ha incrementado exponencialmente en el Ecuador en estos últimos años y no solo en las ciudades principales del país como Quito o Guayaquil sino también en las ciudades más pequeñas pero de gran crecimiento económico y trascendental para el país; tal es el caso de la ciudad de Esmeraldas donde la demanda del servicio de Telecomunicaciones aumenta cada día y no solo por el servicio de Internet que hoy en día es considerado una necesidad básica de la población, sino también por el impulso económico que genera la interconexión de datos entre empresas y grandes industrias a nivel nacional e internacional.

La ciudad de Esmeraldas está ubicada en la zona noroccidental del Ecuador y es la capital de la provincia del mismo nombre.

Esmeraldas, al igual que muchas de las ciudades costeras del Pacífico es afectada por fenómenos naturales como el conocido fenómeno Del Niño producido en los meses de Diciembre y Enero provocando una afectación en el sector agropecuario, ganadero y también de Telecomunicaciones debido a la gran cantidad de afluentes naturales que por las lluvias producen inundaciones y deslaves en la mayor parte de la zona costera de la provincia.

En el mes de Enero del año 2016, Esmeraldas sufrió un gran impacto provocado por el fenómeno Del Niño donde se evidenció la vulnerabilidad de las redes de Telecomunicaciones ante fenómenos naturales en la zona (Anexo A).

Estos factores aumentan la necesidad de contar con un enlace de respaldo para los servicios de Telecomunicaciones en las zonas de alto riesgo de impactos naturales.

### **5.1. Situación actual de la red de Telconet hacia la ciudad de Esmeraldas y sus dependencias.**

La empresa de Telecomunicaciones Telconet ha crecido rápidamente a lo largo del país utilizando una Metro-Ethernet para interconectar las ciudades principales como son Quito y Guayaquil con el resto de ciudades tanto en la región Sierra, Costa y Amazonía.

Una red Metro Ethernet es utilizada para dar servicio de conectividad de banda ancha dentro de un área Metropolitana, es decir, que comprende ciudades, cantones y provincias. Dentro de esta área metropolitana se encuentra una gran cantidad de redes LAN las cuales serán interconectadas por un medio de transmisión de alta velocidad basado en el estándar Ethernet para comunicación digital a grandes distancias (Metro-Ethernet).

#### ***5.1.1. Transporte de datos a través de MPLS***

Telconet ha desplegado sobre su Metro-Ethernet el protocolo de transporte de datos MPLS con el objetivo de mantener una red con alta fiabilidad y rendimiento así como la posibilidad de reducir costos al momento de transportar información mejorando la eficiencia de su red.

A continuación se describen las características importantes de la tecnología MPLS.

- MPLS es un estándar de conmutación de paquetes elaborado por la IETF (Internet Engineering Task Force).
- Utiliza etiquetas jerárquicas para transportar los paquetes de información a su destino.
- Con la utilización de etiquetas se reservan los recursos de la red para satisfacer los requerimientos del servicio y la QoS demandada.
- Para crear las rutas utiliza el protocolo de distribución de etiquetas (LDP – Label Distribution Protocol). Las rutas creadas a través de las etiquetas se denominan LSP (Label Switch Path).

- Utiliza dos dispositivos indispensables para el transporte de información mediante las etiquetas, los cuales son el LER (Label Edge Router) y el LSR (Label Switching Router).
- Los LER se ubican en el borde de la red para establecer la comunicación con la red MPLS y la red IP convencional (ATM, Frame Relay, etc.)
- Los LSR están ubicados dentro de la red MPLS y realiza la conmutación basada en la etiqueta del paquete.

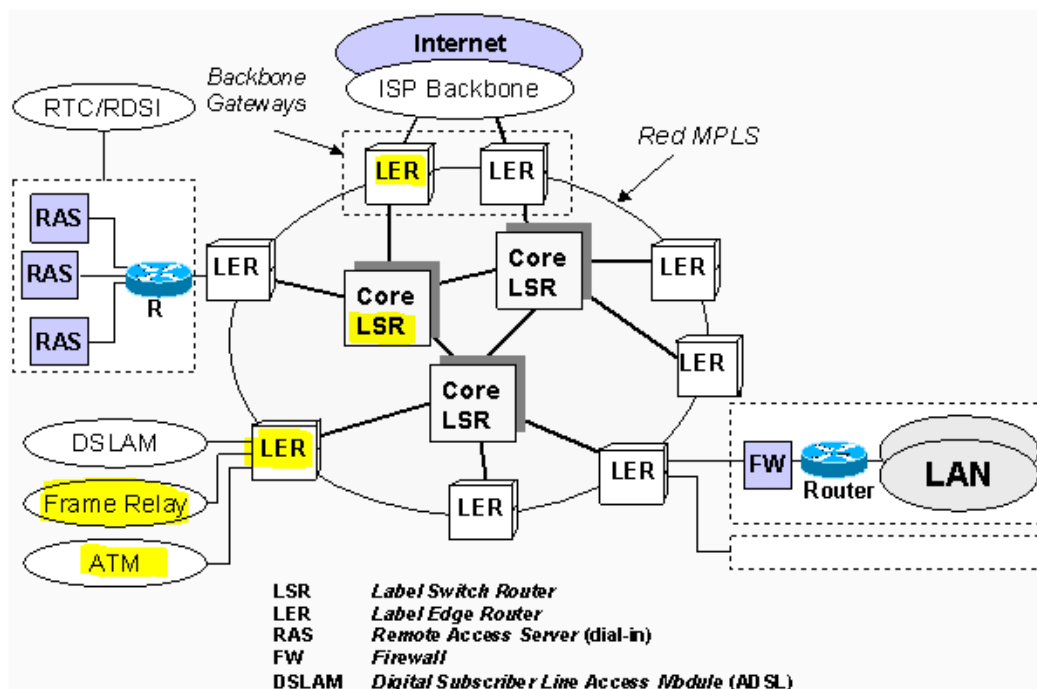


Figura 1. Ejemplo de una Red MPLS («MPLS (MultiProtocol Label Switching)», s. f.)

Los beneficios principales de utilizar la red MPLS sobre una red IP son:

- Se puede realizar ingeniería de tráfico con el objetivo de utilizar los recursos de red de una manera más eficiente evitando que las rutas estén muy congestionadas y otras poco utilizadas.
- Permite asignar diferente clase de servicio (CoS) y/o calidad de servicio (QoS) a cada paquete, soportando los servicios diferenciados DiffServ. Este beneficio es

indispensable para la transmisión de aplicaciones en tiempo real como telefonía IP o video.

- Permite crear redes virtuales privadas (VPN) basadas en IP con la ayuda de circuitos virtuales o túneles a lo largo de la red IP.
- Con una red MPLS se mejora la recuperación ante fallas o desastres mediante múltiples conexiones redundantes a la nube MPLS, esto permite que la conmutación a un enlace de respaldo sea mucho más rápida y sencilla.

### ***5.1.2. Red actual hacia la ciudad de Esmeraldas***

Telconet utiliza un gran número de sitios donde concentra y distribuye el servicio de Telecomunicaciones, estos sitios son llamados nodos y cada uno consta con los requerimientos necesarios para su funcionamiento como, energía eléctrica, iluminación, respaldo eléctrico, racks de comunicación, acometidas para cables de datos, ODF, protecciones eléctricas y las respectivas seguridades de acceso.

Dentro de un nodo se dispone de equipamiento de red como routers y switches necesarios para la distribución del servicio a los clientes mediante las conexiones de última milla ya sea por fibra óptica o radios microondas.

Para el caso específico de la ciudad de Esmeraldas la red depende originalmente del nodo principal SDH ubicado en la ciudad de Santo Domingo mediante una extensa ruta de fibra óptica multi-modo de 24 hilos. Esta fibra óptica está montada en forma aérea, es decir, viaja por los postes de la empresa pública que se encuentran en la carretera o en muchos casos colocados por la empresa Telconet.

La ruta de fibra óptica pasa por las ciudades de La concordia, La Unión y Quinindé antes de llegar a la ciudad de Esmeraldas donde se despliega la Metro-Ethernet para dar el servicio de Telecomunicaciones a sus clientes. En cada una de estas ciudades existe un nodo donde se

encuentran los equipos de Telecomunicaciones necesarios para la transmisión de la información.

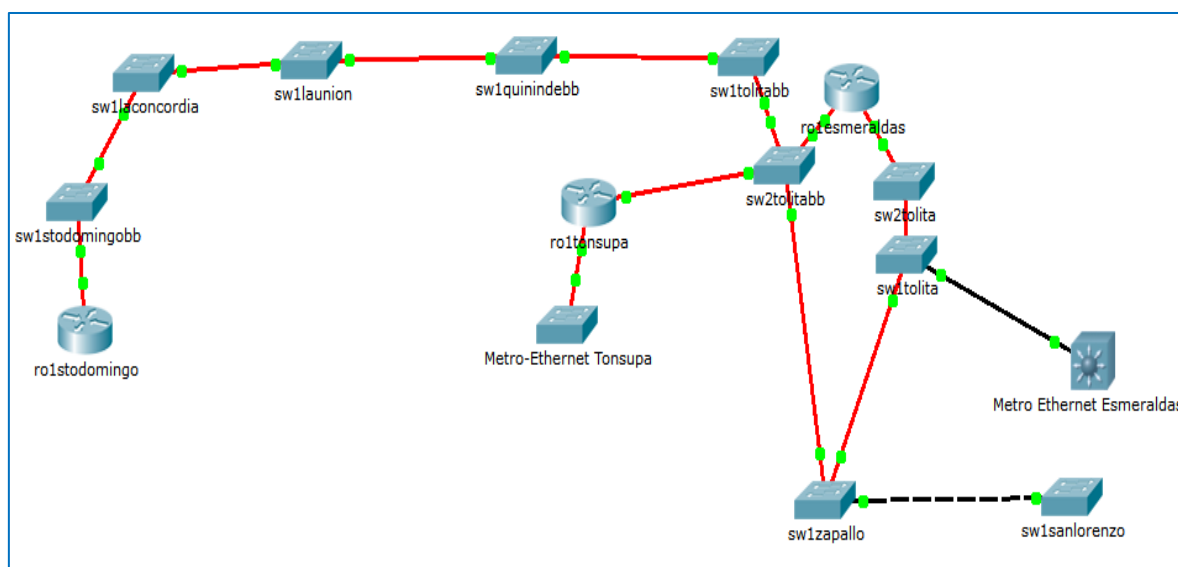


Figura 2. Red actual de Telconet hacia la ciudad de Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia»

La distancia de la fibra óptica entre cada uno de estos nodos se visualiza en la siguiente tabla:

Tabla 1. Distancias de las rutas de fibra óptica hacia Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Rutas de Fibra Óptica	Distancia (Km)
Santo Domingo – La Concordia	49.9
La Concordia – La Unión	16.8
La Unión - Quinindé	26
Quinindé – La Tolita (Esmeraldas)	90
<b>Total Sto. Domingo - Esmeraldas</b>	<b>182.7</b>

En el nodo Tolita se encuentra el router de acceso que permite brindar el servicio de Telecomunicaciones a los diferentes clientes dentro de la Metro Ethernet de Esmeraldas, denominado **ro1Esmeraldas**.

Al ro1Esmeraldas se conectan los diferentes switches de clientes para distribuir el servicio a la ciudad de Esmeraldas y cantones aledaños como por ejemplo San Lorenzo. Para llegar con

el servicio hacia el cantón San Lorenzo se dispone de una ruta de fibra óptica desde el nodo Tolita hacia el nodo Zapallo desde donde está instalado un enlace de radio microondas hacia San Lorenzo.

La red de fibra óptica hacia la ciudad de Esmeraldas es muy extensa y está instalada sobre un alto número de postes que en su mayoría son públicos y por ende están vulnerables a los múltiples riesgos ya mencionados en los antecedentes de este estudio.

## **5.2. Análisis del tráfico de datos en la red IP/MPLS en la ciudad de Esmeraldas y sus cantones aledaños.**

En la ciudad de Esmeraldas se dispone de una Metro-Ethernet compuesta por un gran número de switches para la distribución de los servicios a los clientes finales de Telconet.

A continuación se presenta un detalle de la distribución de los clientes en cada switch:



*Tabla 2. Distribución de Switching de la Metro-Ethernet de Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Nodo	Switch	Cantidad clientes activos	Router
Nodo Tolita	sw1Esmeraldas	25	ro1Esmeraldas
	sw2Esmeraldas	7	
	sw3Esmeraldas	8	
	sw1tolita	10	
	sw2tolita	-	
Nodo Propicia	sw1propiciaesm	18	
Nodo Las Palmas	sw1laspalmasesm	31	
Nodo Parada 7	sw1parada7esm	24	
	sw2parada7esm	-	
Nodo Barrio Central	sw1barriocesm	24	
	sw2barriocesm	3	
Nodo Santas Vainas	sw1santavainasesm	3	
Nodo Almendros	sw1losalmendroesm	-	
Nodo Codesa	sw1codesaesm	22	
Nodo Zapallo	sw1zapallo	-	
Nodo San Lorenzo	sw1sanlorenzo	27	
Nodo Tonsupa	sw1tonsupa	11	ro1tonsupa
Nodo Atacames	sw1atacamestsp	2	
Nodo Castel Novo	sw1castelnovots	1	
Nodo Rosario	sw1rosariotsp	5	
Nodo Atahualpa	sw1atahualpatsp	-	
Nodo Nueva Granada	sw1nuevagranaatsp	4	

Del análisis de clientes que soporta la Metro-Ethernet de Esmeraldas se determina que existen 225 clientes activos, los cuales dependen de dos routers para el acceso a la red, el **ro1Esmeraldas** y el **ro1tonsupa**.

Para el análisis de tráfico de la Metro-Ethernet de Esmeraldas se tomará en cuenta los dos routers de acceso sobre los cuales se concentra todo el tráfico demandado por los diferentes clientes dentro de la Metro-Ethernet de Esmeraldas.

Telconet dispone de un software para el monitoreo del tráfico de cada uno de los switches y routers pertenecientes a su infraestructura de red, denominado CACTI. Con esta herramienta es posible realizar un análisis en cualquier rango determinado de tiempo.

En este software se puede observar dos tipos de tráfico, el de entrada (Inbound) y el de salida (Outbound). La cantidad de tráfico de salida es muy baja comparada con la del tráfico de entrada. Por esta razón se considera únicamente el tráfico de entrada para el análisis requerido.

A continuación se mostrarán las gráficas de cada router, seleccionando un rango de tiempo de 30 días (un mes), con lo cual se analizará el tráfico que demanda la Metro-Ethernet de Esmeraldas.

### 5.2.1. Análisis de tráfico en ro1esmeraldas

Del CACTI de Telconet se analizó el tráfico de datos en el router ro1esmeraldas en el periodo de un mes desde el 26 de febrero hasta el 27 de marzo del 2016 con el siguiente resultado.

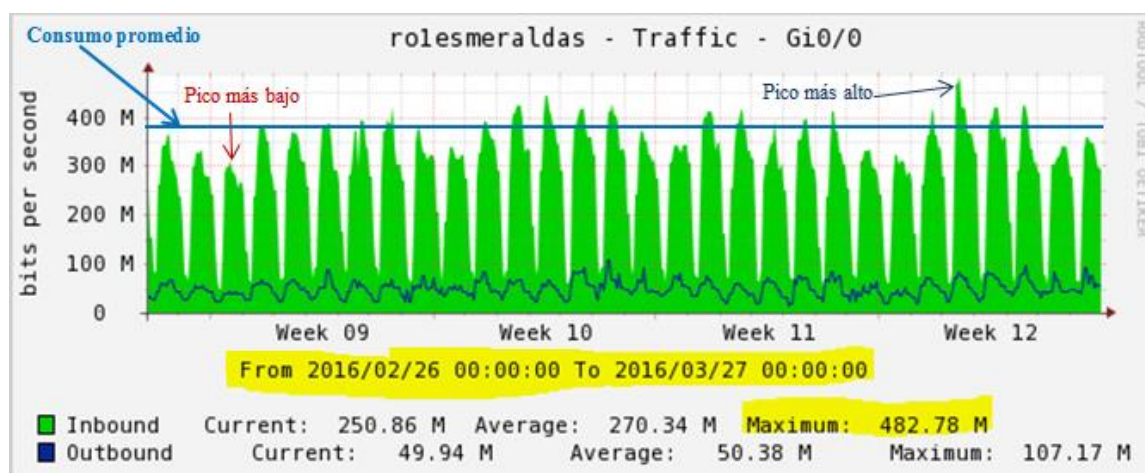


Figura 3. Análisis de tráfico mensual ro1Esmeraldas «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Analizando el gráfico de la interface Gi 0/0 del router **ro1esmeraldas** durante el periodo de un mes, se determina que el pico más alto de consumo en un día es de 482 Mbps y el más bajo es de 300 Mbps.

Considerando el consumo de los 30 días, se determina que el promedio es de **385 Mbps**.

### 5.2.2. Análisis de tráfico en roltonsupa

Del CACTI de Telconet se analizó el tráfico de datos en el router roltonsupa en el periodo de un mes desde el 26 de febrero hasta el 27 de marzo del 2016 con el siguiente resultado.

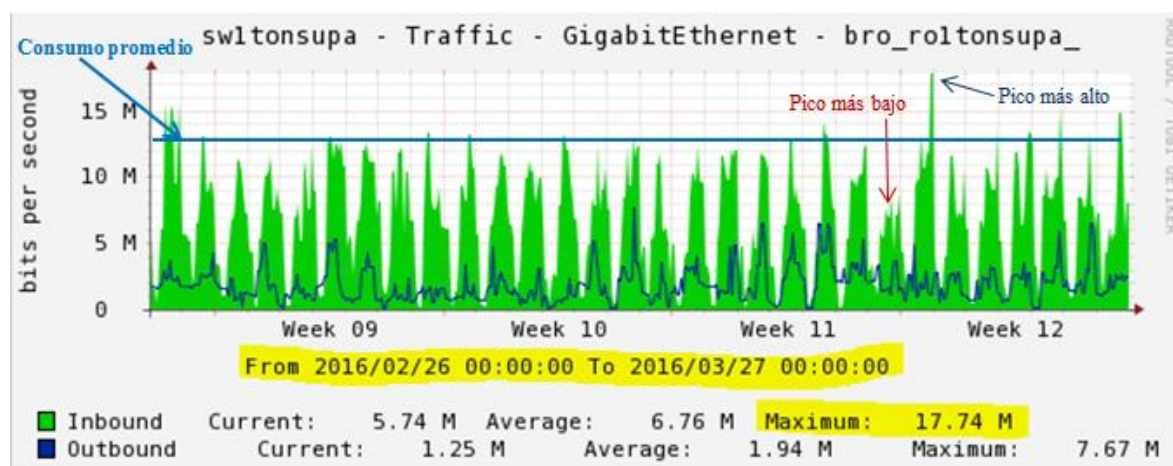


Figura 4. Análisis de tráfico mensual Ro1tonsupa «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Analizando el gráfico de la interface GigabitEthernet del router **roltonsupa** durante el periodo de un mes, se determina que el pico más alto de consumo en un día es de 18 Mbps y el más bajo es de 8 Mbps. Considerando el consumo de los 30 días, se determina que el promedio es de **12.7 Mbps**.

La suma total de los dos valores promedio de consumo de cada router de acceso es de **397.7 Mbps**. Este valor será considerado como la capacidad mínima que debe soportar el enlace de respaldo en estudio.

### 5.3. Alternativas para el enlace de respaldo hacia la red MPLS de Esmeraldas.

El objetivo de un enlace de respaldo es que debe estar operativo o disponible al momento de que el enlace principal presente algún problema o incluso cuando se requiera realizar trabajos de mantenimiento preventivo. Para este objetivo, es importante que el enlace de respaldo sea diseñado e implementado sobre una infraestructura diferente a la ya utilizada en el enlace

principal, de esta manera se evitará que los factores que atentan contra el buen funcionamiento del enlace principal lo hagan sobre el enlace de respaldo.

Como ya fue analizado, el enlace principal para la ciudad de Esmeraldas está actualmente montado sobre una infraestructura de fibra óptica aérea desde Santo Domingo de los Tsáchilas la cual tiene varios factores de riesgo principalmente por su ubicación en la zona costera enormemente afectada por desastres naturales como por ejemplo el fenómeno Del Niño.

Una posible alternativa para un enlace de respaldo sería otro enlace de fibra óptica considerando una ruta diferente, aun así necesariamente pasará por alguna zona costera afectada por los mismos desastres naturales y cambios climáticos.

Tomando en consideración los problemas que inciden en la red cableada de fibra óptica se analiza las ventajas de utilizar para el enlace de respaldo un medio de transmisión inalámbrico.

Un medio de transmisión inalámbrico tendrá una ruta independiente del enlace principal y evitaría muchos de sus factores de riesgo como:

- Derrumbes en la vía
- Inundaciones
- Caídas de árboles sobre la red cableada
- Robo de cable
- Accidentes viales
- Cortes malintencionados en la red cableada

El tiempo de implementación de un enlace inalámbrico es considerablemente menor al de una red cableada de gran distancia, tomando en cuenta que:

- Solo se necesita contratar o comprar dos sitios para ubicar los respectivos equipos en cada extremo del enlace inalámbrico.
- No se necesita de varios trámites de permiso para la ubicación o montaje de la infraestructura.

Debido al reducido número de repetidores o nodos que intervienen en un enlace microondas se disminuyen los tiempos de mantenimiento y solución de problemas así como también sus costos.

Con menos puntos de falla, aumenta la confiabilidad del sistema en un enlace microondas.

Para tener una idea mucho más clara de un sistema inalámbrico se considera también algunas de sus desventajas:

- Se necesita una línea de vista directa entre los dos puntos del enlace. No debe existir obstáculos como montañas, edificios, árboles u otros sobre el horizonte de visualización entre los dos puntos a interconectarse con un enlace microondas. En caso de existir algún tipo de obstáculo es posible superarlo con la ayuda de torres de comunicaciones de gran altura.
- Los enlaces microondas, al utilizar ondas electromagnéticas para la transmisión de información, pueden ser afectados por las condiciones atmosféricas como lluvia o tormentas eléctricas. Esto se puede superar con la utilización de equipos de radio robustos y de tecnología de transmisión adecuada para soportar estos efectos atmosféricos.
- Los enlaces microondas están propensos a sufrir interferencia provocada por otros enlaces o equipos inalámbricos operando en los mismos canales de frecuencia. Esto se puede superar con la utilización de bandas de frecuencia licenciada.

- La capacidad de transmisión de datos en un enlace microondas es muy limitada respecto a la de los medios guiados como la fibra óptica. Sin embargo existen en la actualidad equipos de radio microondas de alta capacidad.

Por el análisis de ventajas y desventajas realizado, el medio de transmisión elegido para el enlace de respaldo hacia la ciudad de Esmeraldas es a través de enlace microondas debido a sus múltiples beneficios y aunque tiene algunos factores de riesgo, estos pueden ser superados o minimizados con la ayuda de un correcto diseño.

## 5.4. Enlace microondas

Para un enlace microondas se debe considerar algunos términos o componentes importantes que se describen a continuación.

### 5.4.1. Medio de transmisión

Para la transmisión de la información se utiliza ondas electromagnéticas que viajan en el espacio libre con el uso de frecuencias que están en el rango de 1000 MHz hasta 300 GHz. Estas frecuencias altas en el orden de los GHz, provocan que la longitud de onda transmitida sea cada vez más pequeña por lo que toma el nombre de transmisión microondas.

El espectro electromagnético se divide según su longitud de onda o frecuencia utilizada:

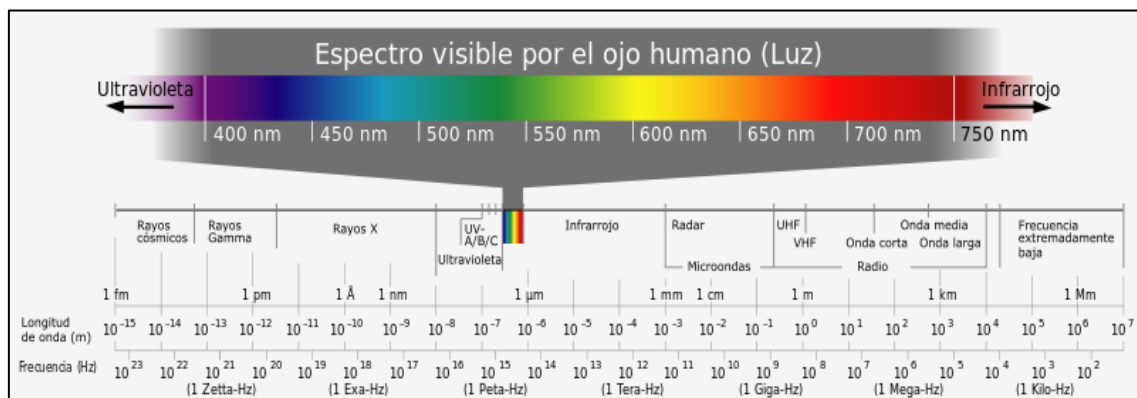


Figura 5. Espectro Electromagnético («Espectro electromagnético - Wikipedia, la enciclopedia libre», s. f.)

Para enlaces microondas se utiliza las siguientes bandas de frecuencia:

*Tabla 3. Bandas de Frecuencia para enlaces microondas «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

<b>Banda</b>	<b>Rango de Frecuencia (GHz)</b>
L	1 – 2
S	2 – 4
C	4 – 8
X	8 – 12
Ku	12 – 18
K	18 – 26,5
Ka	26,5 – 40
Q	30 – 50
U	40 – 60
V	50 – 75
E	60 – 90
W	75 – 110
F	90 – 140
D	110 – 170

#### **5.4.2. Transmisor**

Equipo de radio encargado de modular una señal digital a la frecuencia requerida para ser emitida a través de una antena. Un parámetro a tomar en cuenta en el lado del transmisor de un enlace microondas es su potencia de transmisión que es la fuerza con la cual, la señal es entregada a la antena transmisora para ser enviada al receptor. Entre mayor sea la potencia de transmisión de un equipo de radio, mayor puede ser su alcance en el enlace inalámbrico.

#### **5.4.3. Receptor**

Equipo de radio encargado de recibir la señal en forma de ondas electromagnéticas y las convierte en señales digitales para ser entendidas o utilizadas por los sistemas de una red de comunicación. El parámetro a tomar en cuenta para un enlace microondas en el lado del receptor es la sensibilidad o capacidad de escuchar la señal emitida por el transmisor.

#### **5.4.4. Antena**

Dispositivo que emite y recibe las ondas electromagnéticas sobre el espacio libre. Las antenas tienen ciertos parámetros que se pueden ver en detalle en el Anexo B como:

- Patrón de radiación
- Directividad
- Ganancia
- Eficiencia
- Ancho de haz de media potencia
- Polarización

Para enlaces inalámbricos de grandes distancias se utilizan antenas directivas con alta ganancia.

#### **5.4.5. Torre de Telecomunicaciones**

Una torre de Telecomunicaciones es la estructura metálica sobre la cual se monta los equipos de radio y sus respectivas antenas. Las características de la torre de telecomunicación dependen del servicio que se le vaya a dar, es decir, que tipo de antenas debe soportar. También influyen en gran medida las condiciones geográficas y el espacio físico disponible en el sitio para determinar el tipo de torre de Telecomunicaciones que se instalará, existiendo dos tipos importantes:

- Torre auto-soportada
- Torre de vientos o arriostrada.

##### **5.4.5.1. Torre auto-soportada**

Las torres auto-soportadas se mantienen rígidas o firmes por si solas siendo resistentes a la torsión que puede producirse por fuertes vientos o peso de los equipos montados. Este tipo de



torres necesitan de una área de terreno donde se pueda construir bases de concreto (cuatro bases) lo suficientemente enterradas para soportar el peso de la torre y las diferentes cargas que influyen sobre la misma.

Su estructura es piramidal en la parte inferior y cuadrangular en su parte superior. En el siguiente gráfico se puede observar las dimensiones que puede tener una torre auto-soportada dependiendo de su altura.

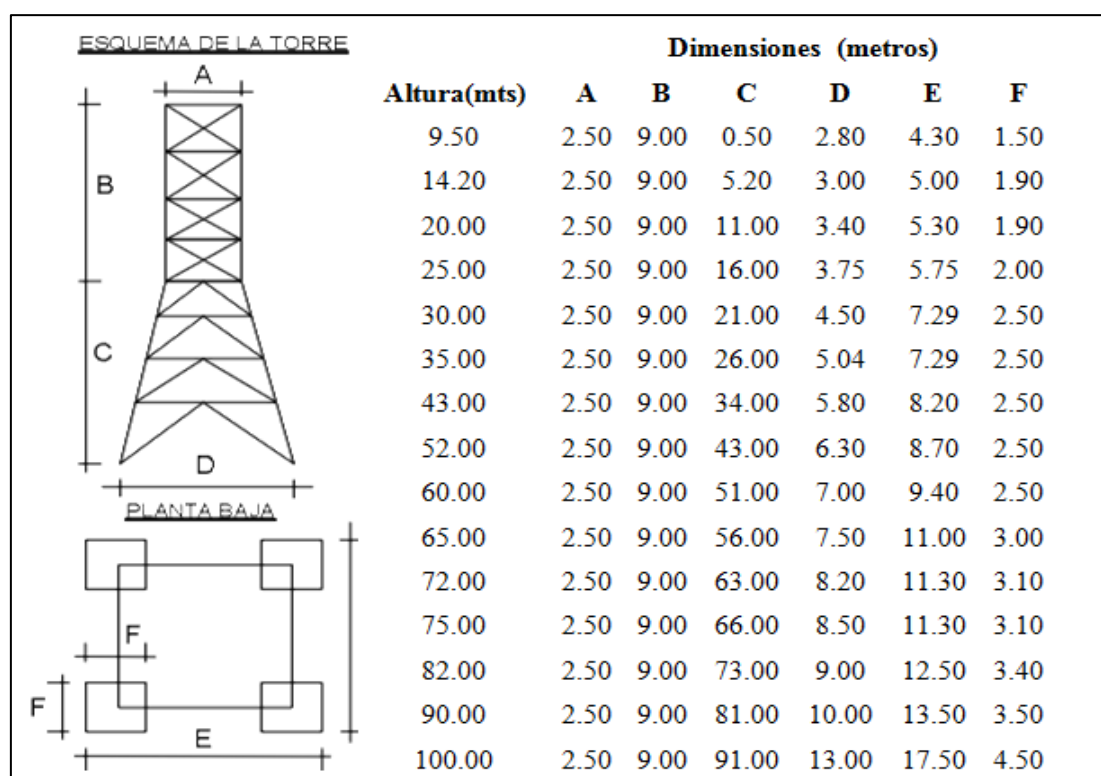


Figura 6. Esquema de torre auto soportada («...:Neptuno:...», s. f.)

#### 5.4.5.2. Torre de vientos o arriostrada

Las torres de vientos o arriostradas son estructuras menos rígidas respecto a una torre auto-soportada debido a su dimensión que es mucho más delgada. Su estabilidad depende de cables de acero anclados al piso y a diferentes alturas de la torre, a estos cables se los conoce como vientos o riostras. Este tipo de torres comúnmente se construyen sobre edificaciones ya existentes y donde no se dispone del terreno apropiado para la cimentación que necesita una torre auto-soportada.

En general, la estructura básica de este tipo de torres es triangular y dispone de tres puntos de tensión para las riostras que comúnmente están ancladas al piso a una distancia del 70% de la altura total de la torre y separadas  $120^\circ$  una de la otra intentando estar ubicadas dentro de una circunferencia en cuyo centro estaría la base de la torre.

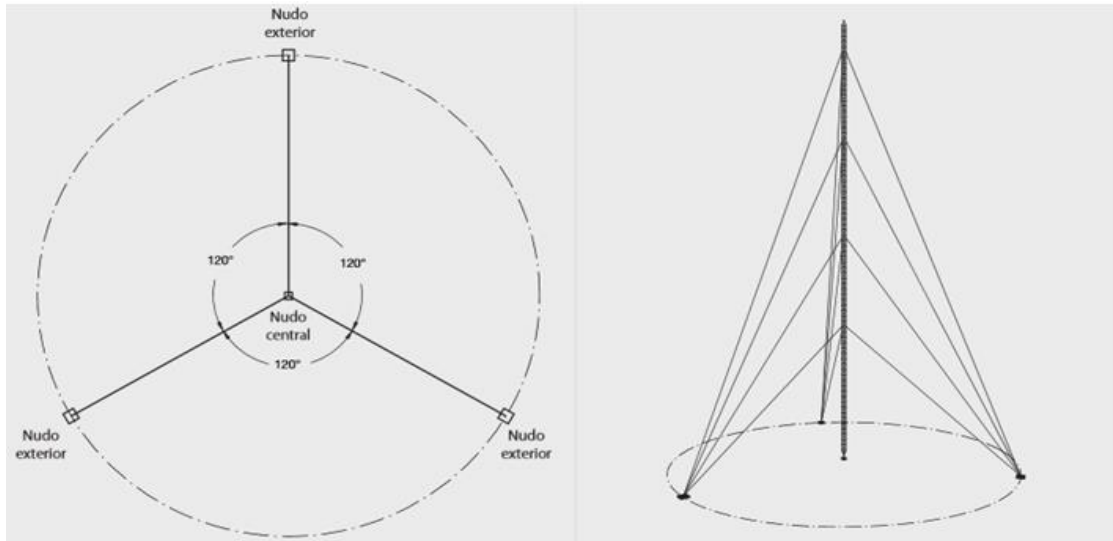


Figura 7. Esquema de torre de vientos o arriostrada («<http://www.televes.com>»)

#### 5.4.6. Línea de vista

Se considera una línea imaginaria directa desde el transmisor hasta el receptor en la cual no debe existir ningún tipo de obstáculos para que el enlace pueda establecerse y operar según el diseño y parámetros esperados. La onda electromagnética es recibida dentro del horizonte visual.

#### 5.4.7. Espacio Libre

Se considera la distancia en el espacio desde el transmisor hasta el receptor en el cual viajan las ondas electromagnéticas que contienen la información objeto del sistema inalámbrico. En el espacio libre es donde la señal transmitida sufre la mayor parte de su degradación.

#### 5.4.8. Zona de Fresnel

A pesar de que haya una línea de vista directa entre el transmisor y el receptor, es necesario que el campo producido por las ondas electromagnéticas esté también libre de obstrucción. Este campo está compuesto por diferentes líneas elipsoides conocidas como zonas de Fresnel y para garantizar que en un enlace microondas no influyan las obstrucciones cercanas así como la curvatura de la tierra ( $k=4/3$ ), se debe garantizar que la primera zona de Fresnel permanezca despejada de obstáculos.

Para calcular el radio de la primera zona de Fresnel se usa la siguiente ecuación:

$$r_1 = 8,657 \sqrt{\frac{D}{f}}$$

Donde,

$r_1$ = radio en metros

$D$ = distancia entre transmisor y receptor en kilómetros.

$f$ = frecuencia de transmisión en GHz

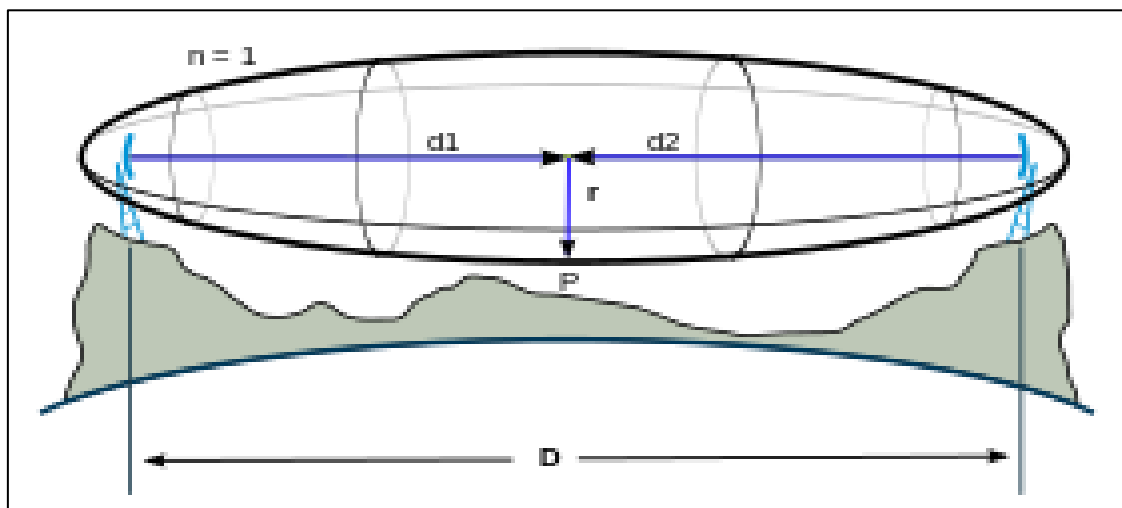


Figura 8. Primera Zona de Fresnel («Zona de Fresnel - Wikipedia, la enciclopedia libre», s. f.)

#### **5.4.9. Sensibilidad del receptor**

La sensibilidad de un equipo de radio es la característica que le permite poder escuchar o recibir una señal electromagnética emitida por un equipo transmisor. Este valor lo define el fabricante y se lo considera como la mínima potencia para que el equipo de radio pueda recibir la señal transmitida y sea de modulada para establecer un enlace inalámbrico. De esta forma se establecerá un canal para la transmisión de la información.

#### **5.4.10. Presupuesto de enlace**

Para obtener resultados óptimos en un enlace inalámbrico es necesario realizar el cálculo previo de todas las pérdidas y ganancias que influyen en el sistema.

De lado del transmisor se considera como ganancia:

- Potencia de transmisión del equipo de radio
- Ganancia de la antena.

Y como pérdida se considera el generado por el cable de conexión entre el radio y la antena, llamado también guía de onda.

De lado del receptor se considera como ganancia únicamente la de la antena receptora y como pérdida la que se produce en la guía de onda.

Un factor indispensable al momento de realizar el presupuesto de enlace es la pérdida o degradación de la señal en el espacio libre (Free Space Loss, FSL). La pérdida por espacio libre depende directamente de la distancia del enlace y de la frecuencia de transmisión, calculada con la siguiente ecuación:

$$FSL = 20\log(D) + 20\log(F) + 32,4$$

Donde,

D es la distancia del enlace en kilómetros

F es la frecuencia de transmisión en MHz.

FSL es la pérdida en el espacio libre en dB.

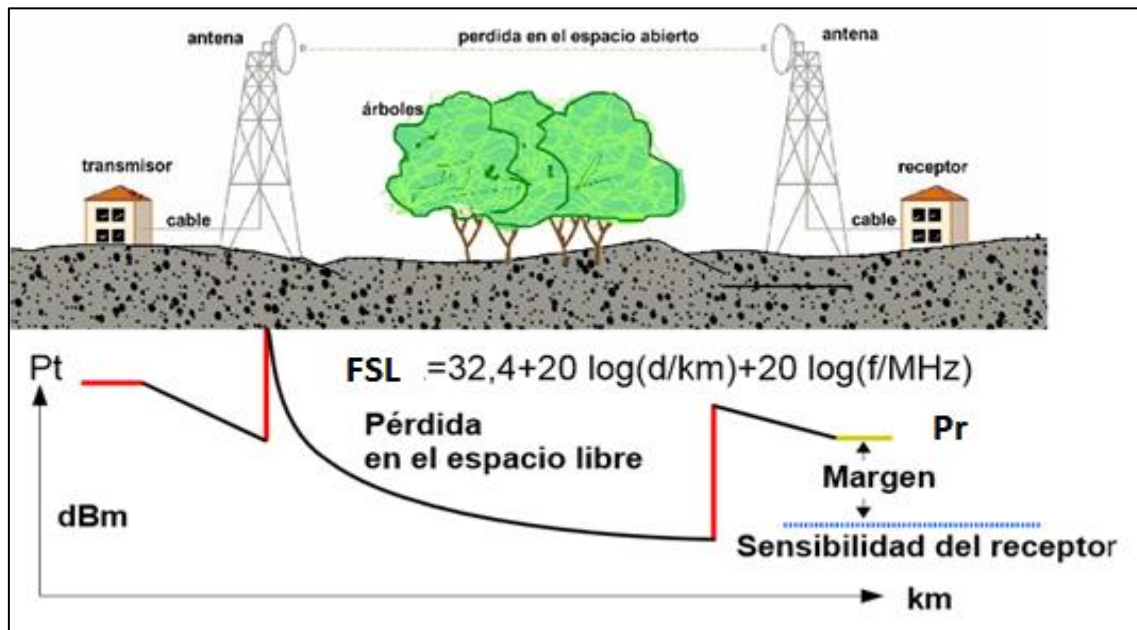


Figura 9. Presupuesto de enlace microondas

Al momento de realizar el cálculo del presupuesto del enlace se obtendrá un valor en la potencia de recepción, el cual, comparado con la sensibilidad del equipo del radio receptor da como resultado el margen de recepción.

El margen de recepción es el valor o la cantidad de potencia que la señal recibida puede degradarse por diferentes causas hasta sobrepasar la sensibilidad del equipo receptor y perder el enlace inalámbrico.

El margen de recepción depende de que tan robusto deseemos que sea el enlace inalámbrico y de la capacidad de tráfico de datos que debe soportar (throughput). Es decir, que para que la capacidad de tráfico sea alta, el margen de recepción debe también ser alto.

### 5.5. Diseño del enlace microondas

En el diseño del enlace microondas para la ciudad de Esmeraldas se determinará primero los sitios donde se ubicará cada uno de los extremos del enlace.

Una vez determinada la ubicación de los sitios se realizara el estudio de factibilidad del enlace microonda, con este estudio se podrá proceder a la elección de los equipos de radio y antenas necesarias para lograr el propósito deseado.

#### ***5.5.1. Ubicación de los sitios del enlace microondas***

Para la ubicación de los sitios se debe considerar algunos aspectos importantes como:

- Fácil acceso
- Suministro de energía eléctrica
- Seguridad

##### ***5.5.1.1. Sitio 1 – Cerro Zapallo***

Luego de un breve análisis geográfico se eligió como sitio 1 al Cerro Zapallo ubicado cerca a la ciudad de Esmeraldas. Este lugar ya cuenta con equipos de red de la empresa Telconet alimentado mediante un enlace de fibra óptica desde la ciudad de Esmeraldas para desde este punto dar los servicios de Telecomunicaciones al cantón San Lorenzo mediante un enlace microondas.

Por esta razón se cuenta con la infraestructura necesaria para la ubicación de los equipos del enlace microondas de nuestro estudio como son: cuarto de equipos, respaldo eléctrico, rack de comunicaciones, torre de Telecomunicaciones con sus respectivas protecciones eléctricas. Se cuenta con la seguridad adecuada debido a que en el lugar también es utilizado por el Ejército Nacional para transmisiones de comunicación.

La ruta de fibra óptica existente entre la ciudad de Esmeraldas y el Cerro Zapallo es de gran importancia para el presente estudio debido a que se puede utilizar esta misma ruta para la conexión del enlace de respaldo y la Metro-Ethernet de Esmeraldas.

Las coordenadas geográficas del Cerro Zapallo y donde están ubicados los equipos de comunicación de Telconet son:

- Latitud: 0°53'5.14"N (0.884761°)
- Longitud: 79°31'52.30"O (-79.531195°)
- Altura: 620 msnm

La torre de comunicaciones en el Cerro Zapallo tiene una altura de 35 metros y es de característica auto-soportada.

#### **5.5.1.2. Sitio 2 – Los Bancos**

Al analizar las diferentes posibilidades para el sitio de donde dependerá el enlace de respaldo para la ciudad de Esmeraldas se ha considerado la ciudad de San Miguel de los Bancos donde la empresa Telconet ya dispone de una ruta de fibra óptica para dar servicio en esta zona.

Las coordenadas geográficas del llamado nodo Los Bancos son:

- Latitud: 0° 1'21.30"N (0.022583°)
- Longitud: 78°53'41.30"O (-78.894806°)
- Altura: 1070 msnm

#### **5.5.2. Frecuencia portadora para el enlace microondas**

A pesar de tener un rango de frecuencias exclusivas para enlaces microondas, el uso de cada una de ellas está relacionado con las especificaciones y características requeridas de funcionamiento. Para los enlaces microondas de Backbone o Punto a Punto se utiliza el rango de frecuencia desde 3 GHz hasta 38 GHz pasando por la banda de frecuencia libre de 5 GHz. Para determinar la frecuencia portadora con la que se diseñará y operará el enlace microondas en estudio, es necesario tomar en cuenta la distancia y capacidad requerida.

El uso de frecuencias altas permite soportar mayor capacidad de tráfico pero son más vulnerables al ruido y desvanecimiento de la señal a largas distancias.

El uso de frecuencias bajas permite establecer enlaces de larga distancia debido a que la longitud de onda es más grande provocando que el desvanecimiento de la señal sea menor pero se limita la capacidad de transporte de la información.

Según las coordenadas de los dos sitios elegidos para el enlace de respaldo, se calcula una distancia aproximada de 120 Kilómetros y según el análisis de tráfico en la Metro-Ethernet de Esmeraldas se requiere una capacidad mínima de 400 Mbps. Estos valores son considerablemente altos para un enlace microondas, por lo que se elige trabajar en una banda de frecuencia no muy alta y con licenciamiento como lo es 7 GHz.

#### ***5.5.2.1. Licenciamiento de la frecuencia de operación***

Para que un enlace inalámbrico pueda operar en una frecuencia determinada es necesaria la autorización por parte del ente regulatorio, quien otorga la concesión para el uso del espectro asignado.

Con la concesión se garantiza el uso exclusivo de la frecuencia, evitando de esta manera posibles interferencias que afecten al rendimiento del enlace.

La empresa Telconet dispone de un contrato de uso de frecuencias y enlaces microondas con la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), sin embargo, es necesario que cada vez que se planifique la instalación y funcionamiento de un nuevo enlace microondas dentro de la red de la empresa, se realice una solicitud para el uso de la banda y canales de frecuencia de los equipos de Radio que se implementarán.

Para la aprobación del uso de la frecuencia se necesita presentar los siguientes formularios (Anexo C):

- RC-1A (Información legal del solicitante)
- RC-2A (Infraestructura del sistema)
- RC-3A (Información de antenas)
- RC-4A (Información de equipos)



- RC-6A (Características del enlace Punto a Punto)
- RC-14A (Esquema del sistema)

Luego de obtener la autorización para el uso de la frecuencia requerida se debe realizar el pago de la tarifa correspondiente a la concesión y uso de las frecuencias para el enlace microondas.

#### 5.5.2.2. *Cálculo para el pago de la tarifa de concesión y uso de frecuencia*

Para realizar el cálculo de la tarifa de concesión y uso del espectro de frecuencia para un enlace microondas se debe considerar el REGLAMENTO DE DERECHOS POR CONCESIÓN Y TARIFAS POR USO DE FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO (Anexo D).

En el reglamento se encuentra la siguiente ecuación para el cálculo de la tarifa de uso de frecuencia:

$$T(US\$) = K_a * \alpha_3 * \beta_3 * A * (D)^2 \quad (Ec.3)$$

Donde:

T (US\$) = Tarifa mensual en dólares de los Estados Unidos de América, por frecuencia asignada.

Ka = Factor de ajuste por inflación.

$\alpha_3$  = Coeficiente de valoración del espectro del Servicio Fijo para enlaces punto- punto (De acuerdo a la Tabla 2, Anexo 3).

$\beta_3$  = Coeficiente de corrección para el Sistema Fijo, enlace punto – punto.

A = Anchura de banda de la frecuencia asignada, en MHz.

D = Distancia en kilómetros entre las estaciones fijas.

*Figura 10. Ecuación para el cálculo de la tarifa de uso de frecuencia.*

Las variables de la ecuación se deducen del mismo reglamento, obteniendo como resultado lo siguiente:

Tabla 4. Variables de la ecuación para el cálculo de la tarifa de uso de frecuencia  
«Elaborado por Rodrigo Tapia»

Variable	Valor
<b>Ka</b>	1.0269
<b><math>\alpha_3</math></b>	0.0237509
<b><math>\beta_3</math></b>	1
<b>A</b>	28 MHz
<b>D<sup>1</sup></b>	30 Kilómetros

Con estos valores se reemplaza en la ecuación:

$$T(US\$) = 1.0269 * 0.0237509 * 1 * 28 * (30)^2$$

$$T(US\$) = 614.62$$

Se calcula que la tarifa mensual para el uso de la frecuencia es de 614.62 dólares. Debido a que el enlace microondas en estudio operará en transmisión Full Dúplex, este valor se duplicará dando como resultado un pago mensual de:

$$T(US\$) = 1129.24$$

Adicional se debe realizar un pago por el derecho de concesión estipulado en el reglamento del Anexo D con la siguiente ecuación:

$D_c = T(US\$) * T_c * F_{cf} \quad (\text{Ec. 9})$	
Donde:	<p><b>T (US\$)</b> = Tarifa mensual por uso de frecuencias del espectro radioeléctrico en dólares de los Estados Unidos de América correspondiente al Servicio y al Sistema en consideración.</p> <p><b>T<sub>c</sub></b> = Tiempo de concesión. Valor en meses de la concesión a otorgarse al respectivo servicio y sistema.</p> <p><b>F<sub>cf</sub></b> = Factor de concesión de frecuencias (De acuerdo a la Tabla 1, Anexo 7).</p> <p><b>D<sub>c</sub></b> =Derecho de concesión.</p>

Figura 11. Ecuación para el cálculo de la tarifa por el derecho de concesión.

Las variables para el cálculo de esta ecuación se deducen del mismo reglamento, dando como resultado:

<sup>1</sup> Según el reglamento del Anexo D, la distancia máxima para el cálculo de la tarifa en la frecuencia de 7 GHz es de 30 Kilómetros.

*Tabla 5. Variables para el cálculo de la tarifa por el derecho de concesión. «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Variable	Valor
<b>T(US\$)</b>	1229.24
<b>T<sub>c</sub></b>	24
<b>F<sub>ef</sub></b>	0.0312929

Estos valores se reemplazan en la ecuación:

$$D_c = 1229.24 * 24 * 0.0312929$$

Dando como resultado un valor por el derecho de concesión durante el periodo de dos años de:

$$D_c = 923.20 \text{ US\$}$$

Una vez firmado el contrato de concesión, se dispone de un año para poner en operación el sistema y firmar el acta de puesta en operación con la ARCOTEL, caso contrario se retira la concesión.

### ***5.5.3. Análisis de factibilidad del enlace microondas***

Con los sitios previamente escogidos, se realiza un análisis de factibilidad para determinar si es posible realizar un enlace microondas entre estos dos puntos.

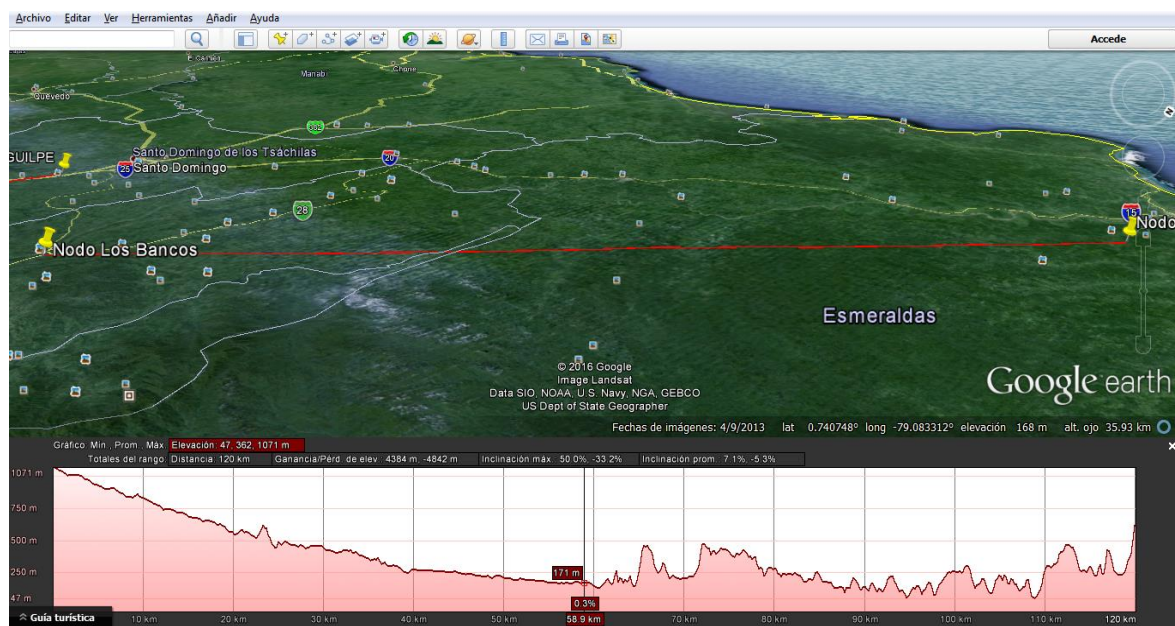
Con un análisis de factibilidad se puede analizar si entre los dos sitios del enlace existen obstrucciones considerables y de ser necesario determinar la altura de las torres para superar estas obstrucciones.

También es de gran ayuda, el análisis de factibilidad, para tener una idea de las características técnicas de los equipos y antenas necesarias para establecer el enlace microondas.

Para el análisis de factibilidad de un enlace microondas se dispone de algunas herramientas de fácil uso. Por ejemplo, si se desea un análisis rápido para verificar la existencia de

obstrucciones debido a la geografía a lo largo del enlace se puede utilizar la herramienta Google Earth.

En Google Earth luego de ubicar los dos puntos con la opción **Agregar marca de posición** se traza una línea entre ellas con la opción de **Mostrar regla**. Una vez que ya se tiene la línea entre los dos puntos con el botón derecho del mouse sobre la línea se escoge la opción **Mostrar perfil** de elevación con lo que se despliega el perfil y la distancia entre los dos sitios.



*Figura 12. Ubicación de sitios en Google Earth «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Con el Google Earth se puede apreciar, en una visualización rápida, si entre los dos sitios existe alguna obstrucción geográfica. Esta herramienta es de gran ayuda para determinar si los sitios escogidos son adecuados y poder continuar con un análisis de factibilidad más detallado, caso contrario, se procede a elegir nuevos sitios para el enlace microondas.

Para tener en mayor detalle la factibilidad de un enlace microondas se utiliza herramientas específicas para este propósito como por ejemplo Radio WORKS y LINKPlanner, los cuales serán utilizados para el análisis de factibilidad del enlace objeto de este caso de estudio.

### 5.5.3.1. Radio WORKS

Radio WORKS es un software gratuito desarrollado por Joseph B. Kowalski y que actualmente está en su versión 2.0 y es utilizado para realizar de manera sencilla los cálculos básicos y necesarios para determinar la factibilidad de un enlace microondas.

#### Información de la frecuencia de transmisión

Con esta opción se puede ingresar la frecuencia de operación del enlace en MHz y se obtiene algunos parámetros importantes como son la longitud de onda, tipo de banda, método de propagación y tipo de transmisión en los que se utiliza la frecuencia.

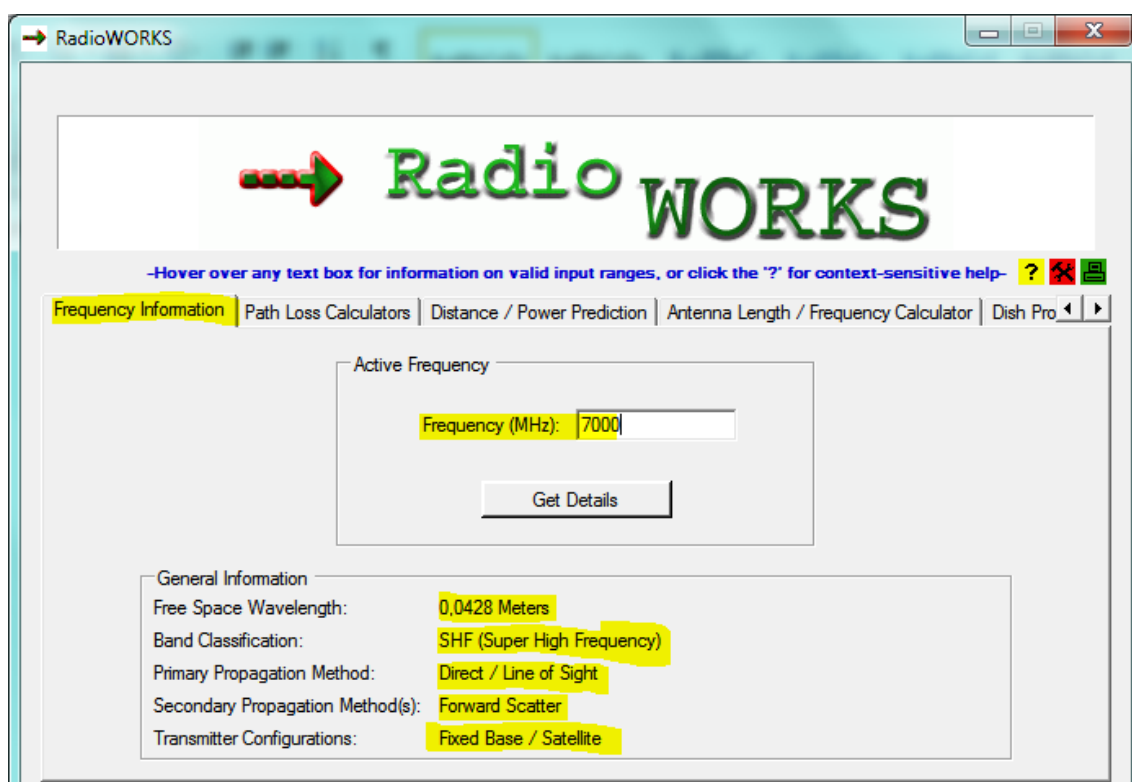


Figura 13. Frecuencia de Transmisión - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia»

#### Pérdida en la ruta (Espacio libre, FSL)

Se puede obtener el valor de la pérdida de la señal en el espacio libre ingresando como datos la distancia entre el transmisor y el receptor en Km y la frecuencia de transmisión en MHz. El resultado es el valor de la Pérdida en la ruta en dB necesaria para realizar el presupuesto del enlace.

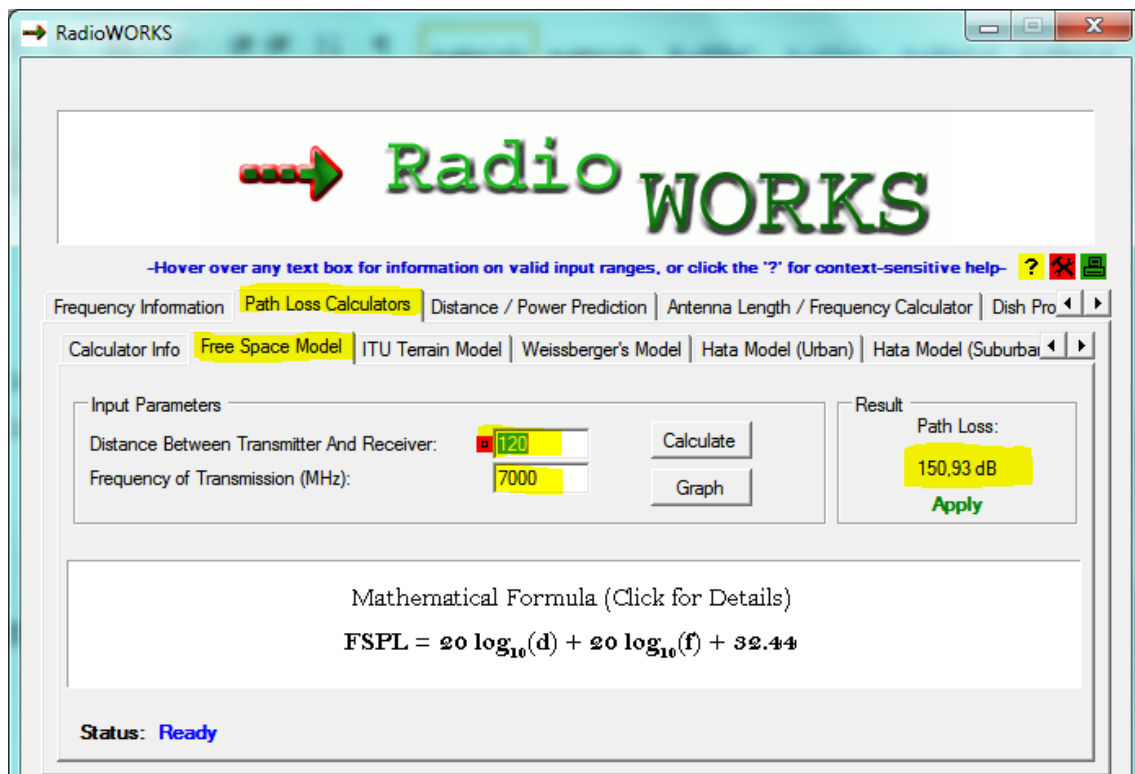


Figura 14. Pérdida en la ruta - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia»

### Cálculo aproximado de la ganancia de una antena

Se puede obtener el valor aproximado de la ganancia de la antena a utilizar en el enlace microondas ingresando el diámetro de la antena parabólica en metros y la frecuencia de operación en MHz. El resultado será la ganancia teórica de la antena en dBi.

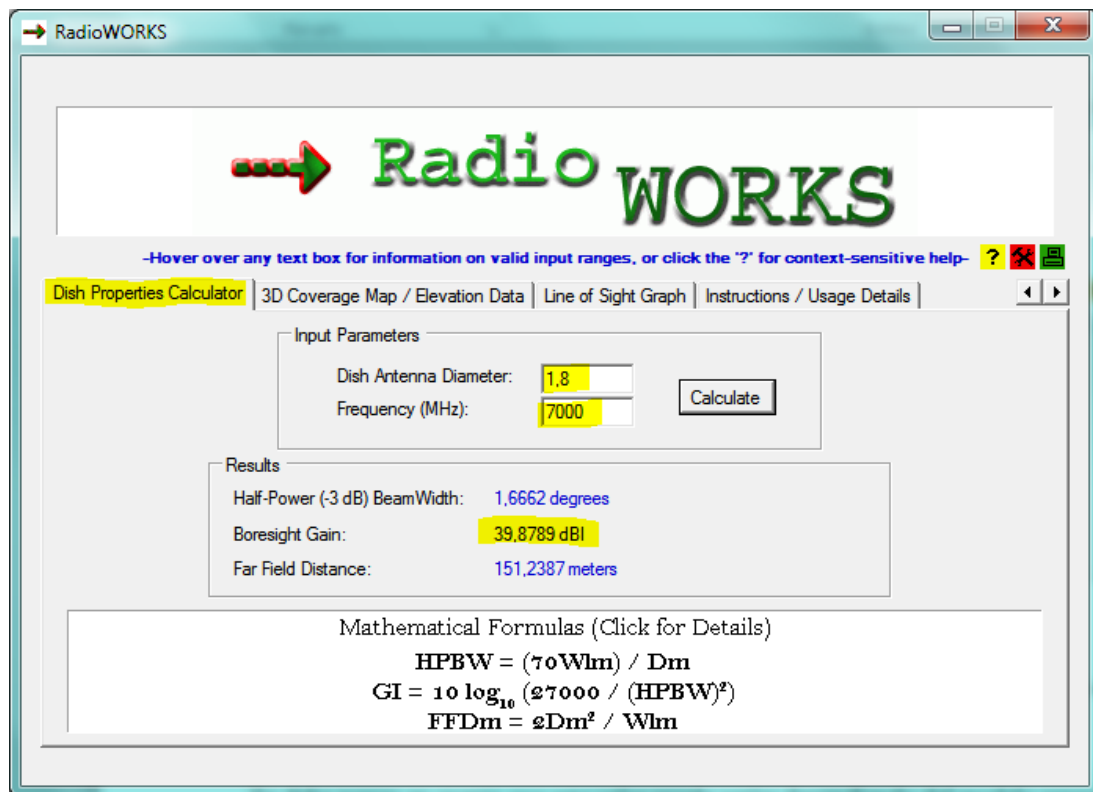


Figura 15. Cálculo de la ganancia de una antena - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Se debe tomar en cuenta que este valor puede variar dependiendo del modelo específico de la antena y de los datos indicados por el fabricante.

### Cálculo de línea de vista

En la opción Line of **Sight Graph** es donde se realiza el análisis de línea de vista del enlace microondas.

Se debe ingresar las coordenadas de los dos puntos del enlace en formato DMS o Decimal, la altura de la torre o a la que estaría ubicada la antena en cada sitio y la frecuencia de operación del enlace.

Se puede grabar cada uno de los sitios con el botón **Sv** para poder ser utilizado en el futuro, así como también cada enlace con el botón **Save**.

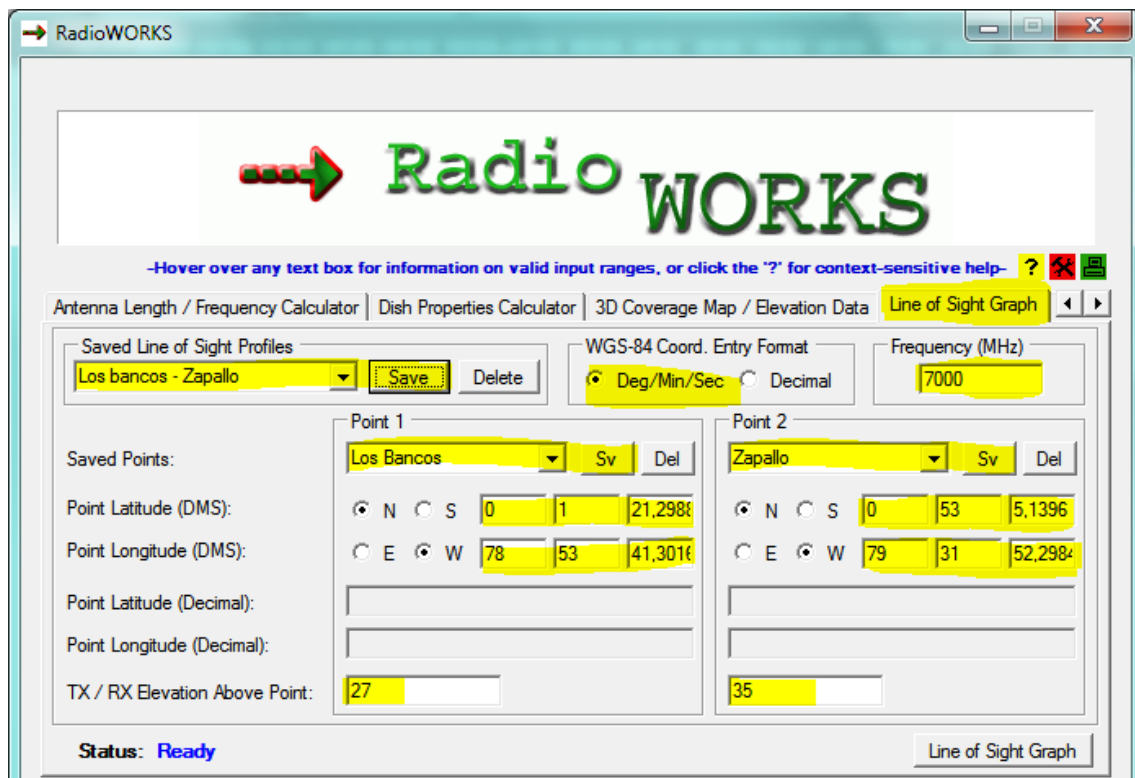


Figura 16. Cálculo de la línea de vista - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Luego de ingresar los datos se presiona el botón **Line of Sight Graph** para obtener el gráfico de línea de vista del enlace. En el grafico se puede observar cada punto unido por su línea de vista y la primera zona de Fresnel

El grafico muestra la elevación de cada punto a nivel de tierra y la elevación total a la que estaría las antenas en la torre.



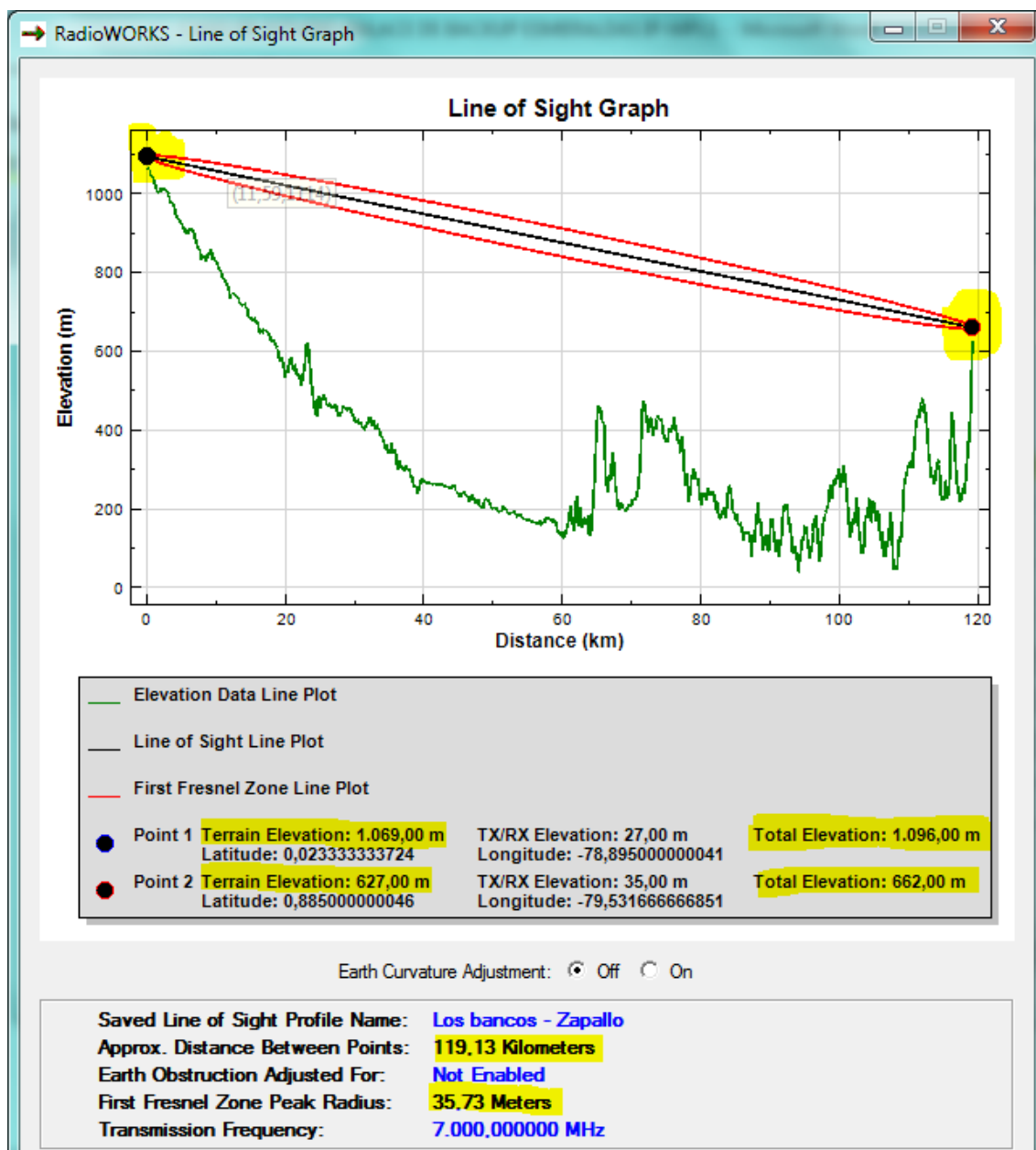


Figura 17. Línea de vista - Radio Works «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Con esta información se visualiza si existe algún tipo de obstrucción en la línea de vista o en la primera zona de Fresnel. De ser el caso se pueden realizar pruebas variando las elevaciones en cada punto para superar algún tipo de obstrucción detectado.

Según el análisis realizado con RadioWORKS para el enlace microondas Los Bancos – Zapallo se visualiza que no existe algún tipo de obstrucción en la línea de vista ni sobre la primera zona de Fresnel con lo que se deduce que si existe factibilidad para el enlace microondas en estudio.

### 5.5.3.2. *Link Planner*

Link Planner es un software proporcionado por proveedor de soluciones de banda ancha Cambium Networks para realizar un diseño en detalle de un enlace inalámbrico con diferentes factores que intervienen en la optimización de su rendimiento.

Con este software puede obtener una idea más detallada de las características de un enlace microondas, incluso se puede predecir los niveles de recepción esperados para el enlace.

Este software se lo puede descargar directamente de la página de Cambium Networks en el siguiente link: <http://www.cambiumnetworks.com/products/software-tools/linkplanner/>

La instalación es muy sencilla siguiendo los pasos indicados por el software. Luego de la instalación se debe realizar un registro con los datos del usuario que utilizará el software y solicitar un token de acceso para los servicios de perfiles de ruta necesarios para el análisis de factibilidad de los enlaces microondas.

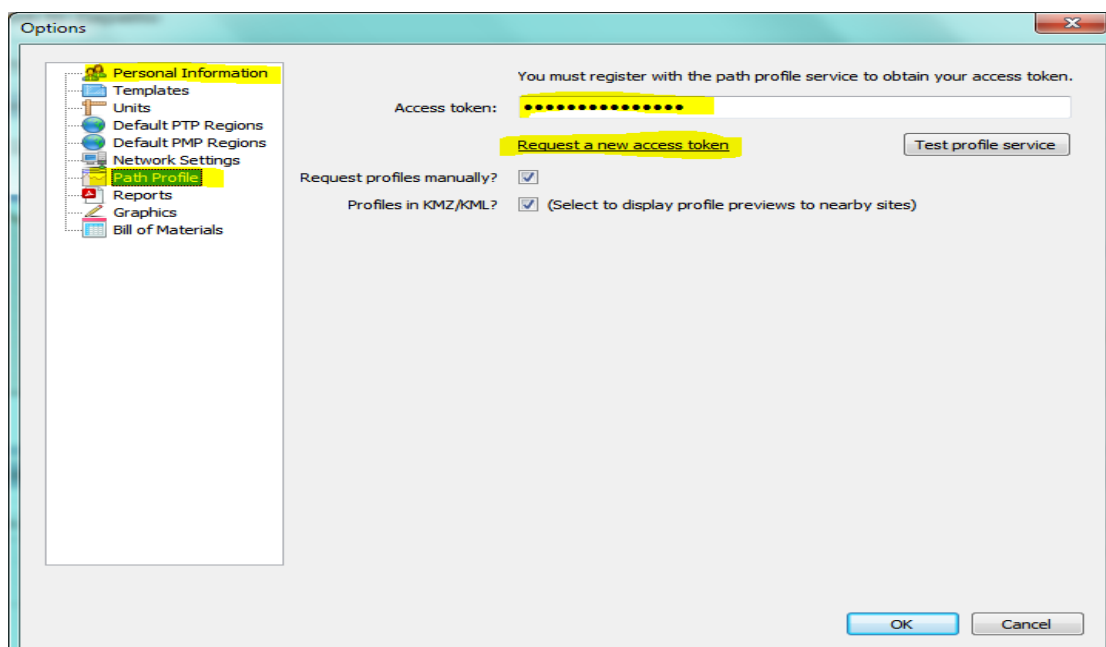


Figura 18. Token de acceso - LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Para realizar el análisis de factibilidad se inicia creando un nuevo proyecto con los datos generales y luego se procede a ingresar los dos sitios del enlace microondas en la opción **New Network Site**.

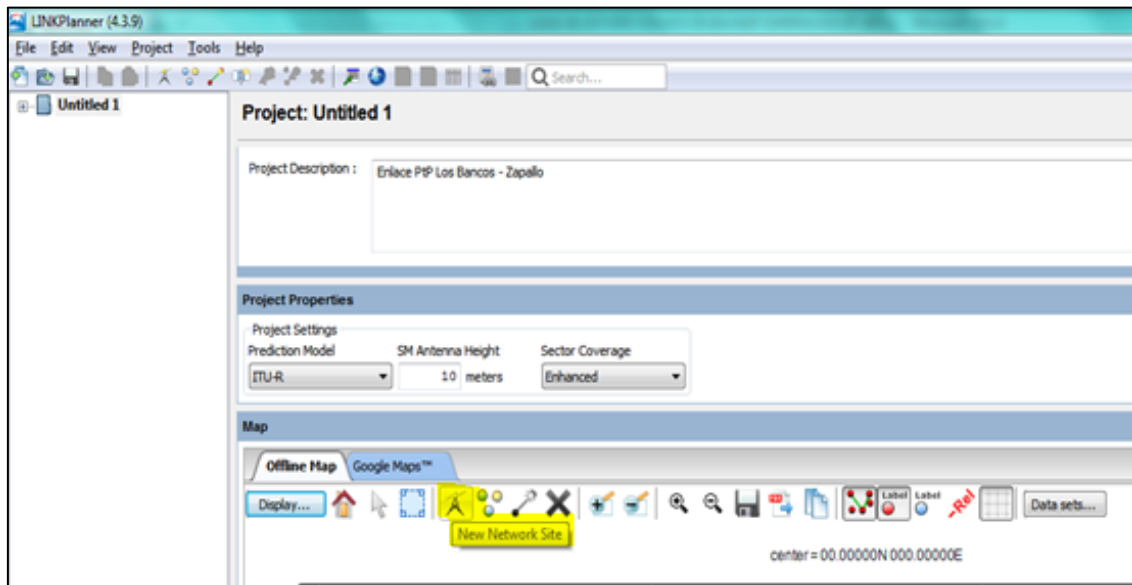


Figura 19. Ingreso de sitio nuevo - LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Se ingresan los datos de los dos sitios, las coordenadas en formato decimal.

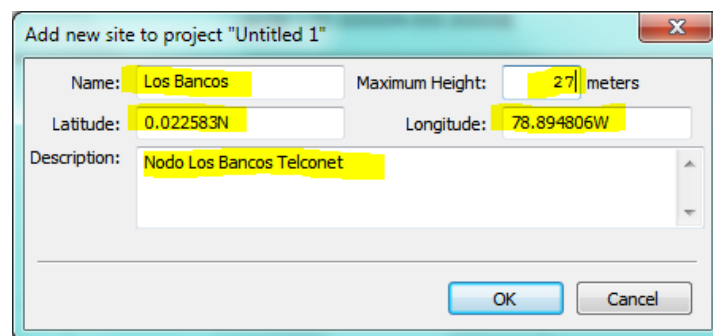


Figura 20. Coordenada Site 1 Los Bancos – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

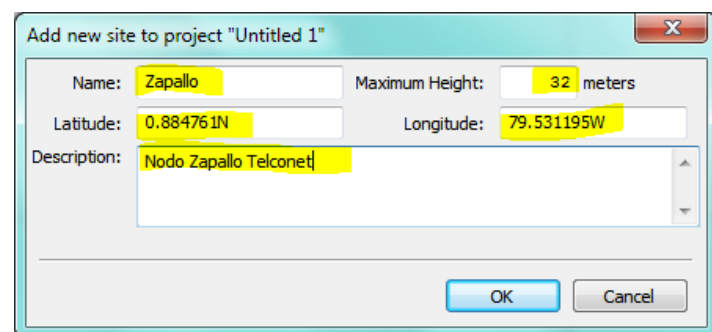


Figura 21. Coordenada Site 2 Cerro Zapallo – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Luego se procede a crear el enlace entre los dos sitios ingresados con la opción **New Link** y seleccionando los dos puntos que se visualizan en el mapa.

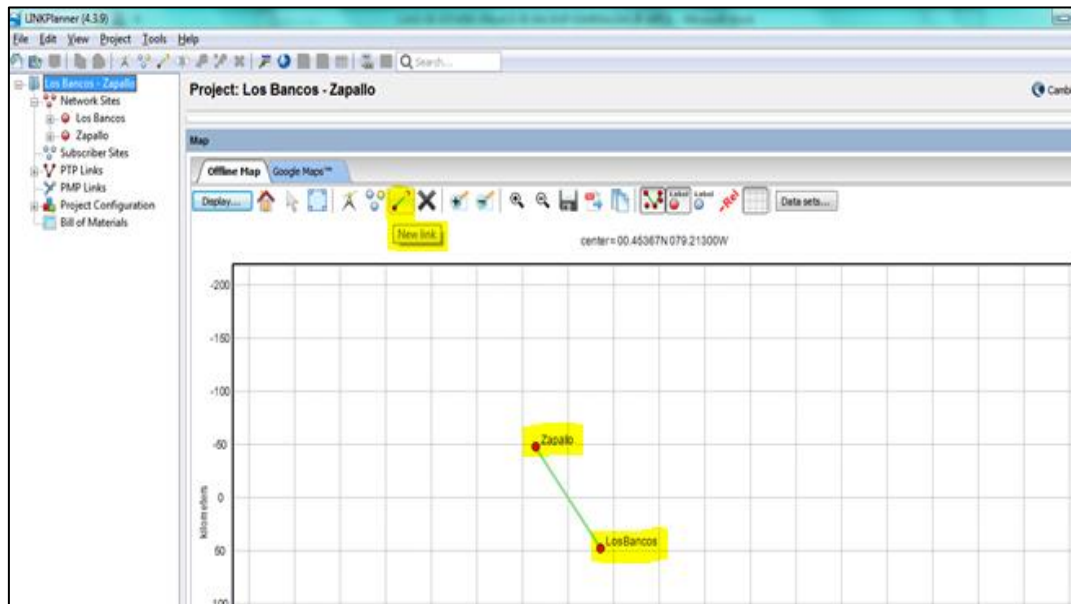


Figura 22. New Link – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Se verifica la creación del enlace punto a punto en la opción de **PTP Links** que se encuentra en las opciones a la izquierda de la ventana.

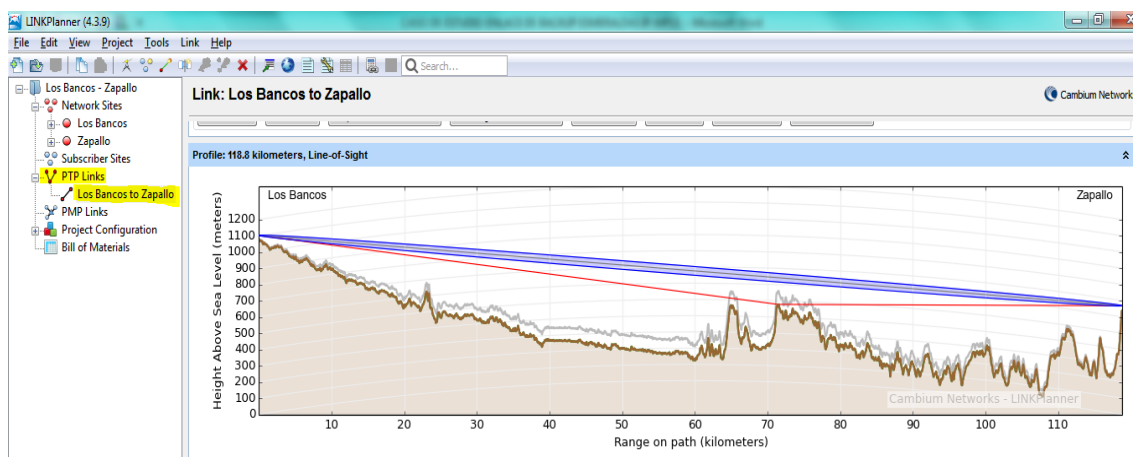


Figura 23. PTP Links – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Con esto se puede observar que existe línea de vista entre los dos sitios del enlace microondas así como también está libre de obstrucción la primera zona de Fresnel.

A continuación se procede a modificar las características básicas del enlace como son:

- Banda de frecuencia
- Ancho de canal
- Modulación
- Polarización

**Link: Los Bancos to Zapallo**

**Link Description**

**Equipment**

Region and Equipment Selection

Band: **7 GHz** Product: **PTP07820C** Regulation: **ETSI** Link Type: **1+0** Remote Mount: **None**

PTP07820C Configuration

T/R Spacing: **154 MHz** Bandwidth: **56 MHz** Modulation Mode: **Adaptive** Maximum Mod Mode: **7 - 512QAM** Polarization: **Horizontal** ATPC: **Disabled** Hi: **Los Bancos** Header Compression: **Disabled**

Figura 24. Modificación de parámetros – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

También se debe escoger las antenas adecuadas para lograr el alcance necesario del enlace microondas. Es posible además realizar ajustes en la altura de las antenas en la torre.

**Link: Los Bancos to Zapallo**

**Configuration at Each End**

**Los Bancos**

Antenna: **Cambium Networks 6ft Single Pol (Global) N070082D288 - Direct (40.5dBi)**

Antenna Height: **27** meters (Max height at site is 27.0 m)

Feeder Loss: **0.3 dB**

Maximum EIRP: **68.2 dBm** ☐ User limit

Maximum Power: **28.0 dBm** ☐ User limit

Tx Frequency: **-- MHz** **Select...**

**Zapallo**

Antenna: **Cambium Networks 6ft Single Pol (Global) N070082D288 - Direct (40.5dBi)**

Antenna Height: **32** meters (Max height at site is 32.0 m)

Feeder Loss: **0.3 dB**

Maximum EIRP: **68.2 dBm** ☐ User limit

Maximum Power: **28.0 dBm** ☐ User limit

Tx Frequency: **-- MHz** **Select...**

Figura 25. Antenas – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Con los datos ya definidos se puede observar el performance alcanzado.

**Link: Los Bancos to Zapallo**

**Performance Summary (ITU-R)**

**Performance to Los Bancos**

Predicted Receive Power: **-45 dBm ± 4 dB**

Mean IP Predicted: **420.47 Mbps**

Mean IP Required: **400.0 Mbps**

% of Required IP: **105 %**

Min IP Required: **1.0 Mbps**

Min IP Availability Required: **99.9900 %**

Min IP Availability Predicted: **99.9993 %**

**Operating Conditions**

Frame Size: **1518** Bytes

**Link Summary**

**Aggregate IP Throughput: 840.94 Mbps**

**Lowest Mode Availability: 99.9984 %**

System Gain Margin: **37.90 dB**

Free Space Path Loss: **151.44 dB**

Gaseous Absorption Loss: **1.51 dB**

Excess Path Loss: **0.00 dB**

Total Path Loss: **152.96 dB**

**Performance to Zapallo**

Predicted Receive Power: **-45 dBm ± 4 dB**

Mean IP Predicted: **420.47 Mbps**

Mean IP Required: **400.0 Mbps**

% of Required IP: **105 %**

Min IP Required: **1.0 Mbps**

Min IP Availability Required: **99.9900 %**

Min IP Availability Predicted: **99.9993 %**

Figura 26. Performance – LinkPLanner «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Tomando en cuenta los valores calculados por el software como la potencia prevista de recepción en cada sitio (-45 dBm +- 4dB), el throughput (840.94 Mbps Agregado) y la disponibilidad del enlace (99.9984 %) se confirma que son los esperados para el presente estudio por lo tanto el enlace de radio es completamente factible y se procederá a la elección de los equipos de radio.

#### ***5.5.4. Elección de los equipos de radio***

Los equipos de radio son los dispositivos encargados en generar la señal transmitida por la antena y a su vez recibir la señal en el lado del receptor.

Para que la información de red (datos) pueda ser transmitida a través del enlace de comunicación se necesita de un proceso llamado modulación con lo cual, el equipo transmisor toma la señal digital original (modulante) y con ayuda de otra señal analógica (portadora) la transforma en una nueva señal que será transmitida por radio frecuencia.

Los equipos de radio microondas utilizan diferentes métodos de modulación digital con lo cual se determina la capacidad de transmisión de datos en el enlace inalámbrico.

Los valores de modulación usados en radios microondas son: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM, 512QAM, 1024QAM Y 2048QAM

Debido a la distancia y capacidad necesaria para el enlace microondas se realiza un análisis de dos equipos de radio microondas con el objetivo de determinar la mejor opción. En base a la experiencia con equipos de radio utilizados en la implementación de diferentes redes inalámbricas de Backbone en la empresa Telconet se tomará en consideración los equipos de radio REDLINE, DRAGONWAVE y CAMBIUM. De acuerdo a las especificaciones técnicas definidas por cada fabricante (Anexo E) se ha realizado el siguiente cuadro comparativo con las características importantes de cada equipo:

*Tabla 6. Cuadro Comparativo Radios Microondas «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

<b>Equipo Características</b>	<b>Red Line 5000</b>	<b>Dragon Wave Horizon Compact plus</b>	<b>Cambium PTP 820C</b>
Servicio inalámbrico	BACKHAUL PtP	BACKHAUL PtP	BACKHAUL PtP
Frecuencia de operación	Desde 6 hasta 38 GHz (ETSI/ANSI)	Desde 6 hasta 38 GHz Licenciado (ETSI/ITU) y 60 GHz no licenciado	Desde 6 hasta 38 GHz
Tamaño de Canal	14 / 20 / 28 / 30 / 40 / 50 / 56 MHz	7 / 14 / 28 / 30 / 40 / 50 / 56 / 62 MHz	7 / 14 / 28 / 56 MHz
Modulación	4 / 16 / 32 / 64 / 128 / 256 QAM, FDD	QPSK to 2048QAM	QPSK hasta 2048 QAM w/ACM
Capacidad real (throughput)	366 Mbps	500 Mbps	500 Mbps
Potencia Máxima de transmisión	+27 dBm a 4 QAM, +20 dBm a 256 QAM	+24.5 dBm a 16 QAM, +19.5 dBm a 2048 QAM	+28 dBm a 8PSK, 24 dBm a 1024 QAM
Conexión Ethernet	Fiber SM or MM, RJ-45 10/100/1000Base-T Ethernet, 1x2-pin BNC RS-232 console port	RJ45 or optical LC	1x10/100/1000 Base-T(RJ-45), 1x1000base-X (SFP), 10/100/1000 Base-T (electrical SFP)
Latencia	Menor a 200 us	120 us a 256 QAM	No especificado
Encriptación	None (OTA)	256-bit AES integrado	AES 256- bit
Administración	ClearView NMS, HTTP, SNMP v2/v3, Telnet, serial	Web Based Management, SSL HTTP, SSH, Radius, Telnet, sFTP	Web, Telnet, HTTP
Calidad de servicio	64 level DiffServ (DSCP), 8 level 802.1p in 4 queues, fixed or weighted (WRR)	8 levels served by 8 hardware queues, based on 802.1p/q, MPLS, DSCP ToS Bits	Hierarchical QoS – high service granularity
Consumo de potencia	36-57 VDC, 35 Watts standard, 41 Watts high power option	6 GHz 55W 11/13/15 GHz 47W 18 GHz 49W 23 GHz 48W 38 GHz 43W	6 GHz: 65W; 7 GHz: 75W; 11 GHz: 65W; 13- 15 GHz: 55W; 18- 24 GHz: 48W; 26- 38 GHz: 55W

Analizando el cuadro comparativo se puede determinar que dos de estos tres equipos de radio microondas soportan la capacidad requerida para el enlace en estudio. Estos equipos son el Dragon Wave Horizon Compact Plus y el Cambium PTP 820C.

Con esto se analizará las características más relevantes de cada uno de estos equipos para determinar la elección definitiva del equipo a utilizar en el enlace de respaldo para la red MPLS de la ciudad de Esmeraldas.

#### ***5.5.4.1. Dragon Wave Horizon Compact Plus***

El radio microondas Dragon Wave Horizon Compact Plus dispone de algunas opciones avanzadas diferentes a las de otros radios.

##### **Bandwidth Acceleration BAC**

Puede alcanzar la capacidad de transmisión sobre el aire hasta 1 Gbps con el uso del acelerador de ancho de banda (Bandwidth Acceleration). Esta característica trabaja sobre las colas de datos que dispone el sistema y se lo puede habilitar independientemente en cada una a través de la interface CLI del equipo.

Para acceder a esta característica se necesita habilitar la licencia específica de Dragon Wave.

##### **Hitless Automatic Adaptive Modulation**

Esta característica le permite al Dragon Wave Horizon Compact cambiar el esquema de modulación dependiendo de los niveles de SNR o de las características del enlace microondas, por ejemplo si las condiciones ambientales deterioran el enlace, esto con el objetivo de que el enlace permanezca funcional y con la capacidad de retornar al esquema normal de modulación una vez que el enlace recupere sus condiciones normales.

Se dispone de una tabla donde se relaciona la modulación con los niveles de SNR (relación Señal a Ruido) del enlace.



*Tabla 7. Modulación - Relación Señal a Ruido «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

<b>Modulation</b>	<b>UP SNR, dB</b>	<b>Down SNR, dB</b>
QPSK	19,46	N/A
16QAM	23,67	18,11
32QAM	26,00	21,42
64QAM	29,00	24,18
128QAM	31,50	27,17
256QAM	33,50	30,00
512QAM	36,70	32,00
1024QAM	37,40	34,70
2048QAM	N/A	35,10

Con esta tabla se entiende que por ejemplo, para que la modulación 256QAM se active, el nivel de SNR debe alcanzar los 33,50 dB y que si se reduce a 30,00 dB la modulación cambiará a 128 QAM. Se configura un tiempo de espera en segundos luego de que el enlace recupera sus niveles de SNR y se realice el cambio a la modulación deseado.

#### **5.5.4.2. Cambium PTP 820C**

El radio microondas Cambium PTP 820C dispone de algunas opciones avanzadas diferentes a las de otros radios.

##### **MultiCore**

El PTP 820C de Cambium es un radio microondas MultiCore, esta característica le permite procesar paralelamente múltiples flujos de señal incrementando la capacidad y beneficio del sistema.

Con el motor de procesamiento paralelo se mejora significativamente la capacidad y alcance en distancia del enlace, se reduce el consumo de potencia y utilización más eficiente de la frecuencia lo que permite disminuir costos en la implementación.

Al trabajar con dos núcleos dentro del mismo radio es posible realizar configuraciones diferentes para cada núcleo sin que sean afectados uno del otro.

Es posible trabajar con un solo núcleo pero al realizar la activación remota del segundo núcleo se duplica las características básicas del enlace como:

- La capacidad
- La distancia del enlace
- Y además se reduce el tamaño de la antena

La capacidad se duplica debido a que se procesa independientemente con dos núcleos la información transmitida y recibida sin afectar la modulación, potencia de transmisión y sensibilidad del receptor.

La distancia se duplica debido a que es posible reducir la modulación en cada uno de los núcleos provocando que la potencia de transmisión y en mayor valor la sensibilidad del receptor aumente para una misma capacidad si se trabajara con un solo núcleo. Esto provoca que todo el sistema aumente su ganancia logrando un alcance de distancia de hasta el doble comparado con un sistema de un solo núcleo y con la misma capacidad requerida.

Al aumentar la ganancia del sistema con doble núcleo es posible trabajar con antenas de menor ganancia lo que implica que sean de menor tamaño y costo.

Se debe tomar en cuenta que este aumento de capacidad y distancia del enlace no provoca el aumento de latencia gracias a las técnicas de control incorporadas en el equipo de radio microondas como Frame Cut-Trough que realiza priorización de tramas para evitar retransmisiones reduciendo de esta manera el consumo de la capacidad del enlace.

### **Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (ABC)**

Con esta tecnología incorporada en el PTP 820C es posible habilitar portadoras de radio separadas para ser compartida por un solo puerto Ethernet provocando el aumento de la

capacidad a través de la interface Ethernet. Por esta razón se aprovecha el 100% de los recursos disponibles en el radio optimizando el tráfico enviado por los diferentes enlaces como se puede observar en el siguiente gráfico:

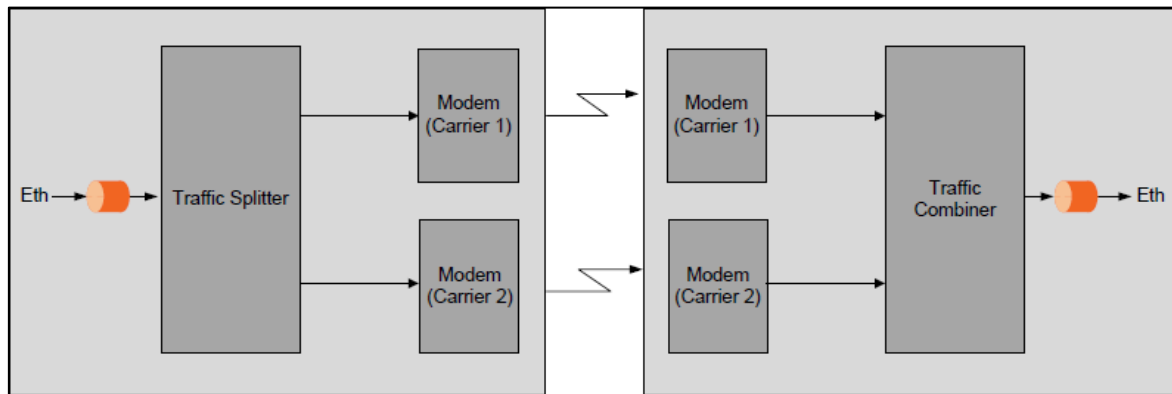


Figura 27. Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (ABC) (1)

El tráfico de datos es enviado en forma balanceada sobre cada portadora byte a byte.

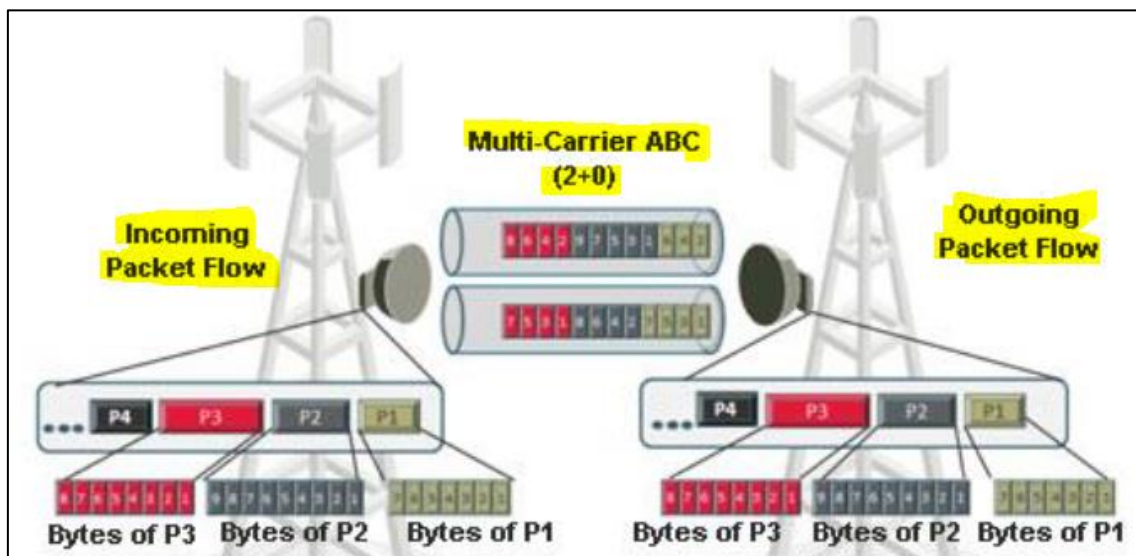


Figura 28. Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (ABC) (2)

Con el código de modulación adaptivo (ACM) activado en el radio es posible que la modulación sea diferente de un enlace al otro por lo tanto la distribución de los datos se realizará de acuerdo a la capacidad de dicho enlace.

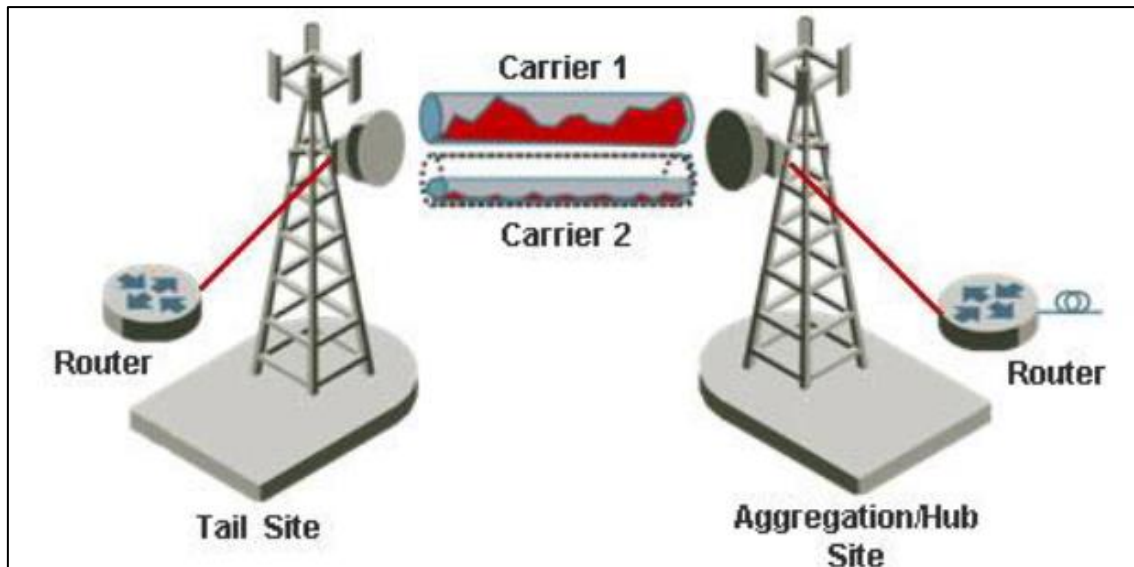


Figura 29. Multi-Carrier Adaptive Bandwidth Control (ABC) (3)

Multi-Carrier ABC permite proteger y degradar el servicio ante la pérdida de uno de los enlaces, simplemente se reduce el ancho de banda hasta que el enlace se re establezca. El bloqueo de uno de los enlaces se puede producir cuando se detecte algún problema en el mismo como degradación del enlace, tasa de BER alta o intermitencias por niveles de ruido

### Adaptive Coding Modulation (ACM)

Con ACM se realiza un ajuste de la modulación según las condiciones del enlace lo requiera teniendo en consideración 11 perfiles que cambiarán secuencialmente como se muestra en el siguiente gráfico.

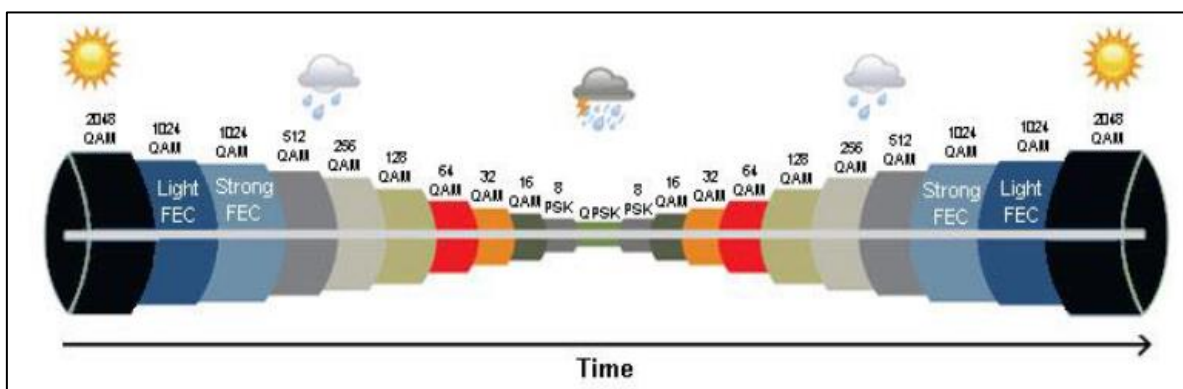


Figura 30. Adaptive Coding Modulation (ACM)

Las ventajas de utilizar ACM son:

- Optimización del uso del espectro
- Incremento de capacidad
- Entre cada perfil de modulación existe una ganancia del sistema de 3 dB
- Mecanismo de calidad de servicio integrado que asegura que el tráfico de más alta prioridad no sea afectado ante la caída de uno de los enlaces.

### Cross Polarization Interference Cancellor (XPIC)

PTP 820C realiza en un enlace de polarización dual la cancelación de interferencia provocada por las dos señales polarizadas, de tal manera que se aumenta la eficiencia espectral en el sistema al poder utilizar el mismo canal. Esto es debido a que las antenas por si solas no pueden aislar las dos polarizaciones completamente y que las condiciones climáticas pueden afectar la rotación de la polarización. El radio en el lado del receptor discrimina la señal enviada en una polarización de la señal intrusa de la señal enviada en la otra polarización obteniendo únicamente la señal enviada. Esto se representa en la siguiente figura.

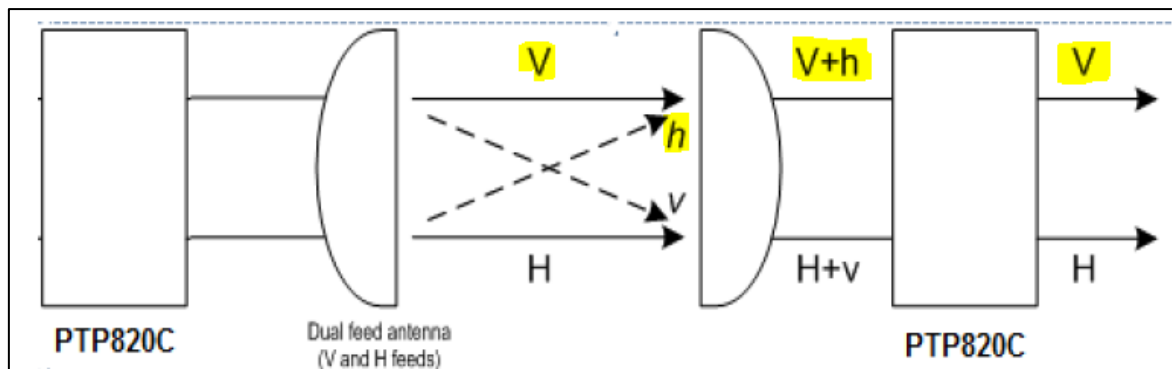


Figura 31. Cross Polarization Interference Cancellor (XPIC)

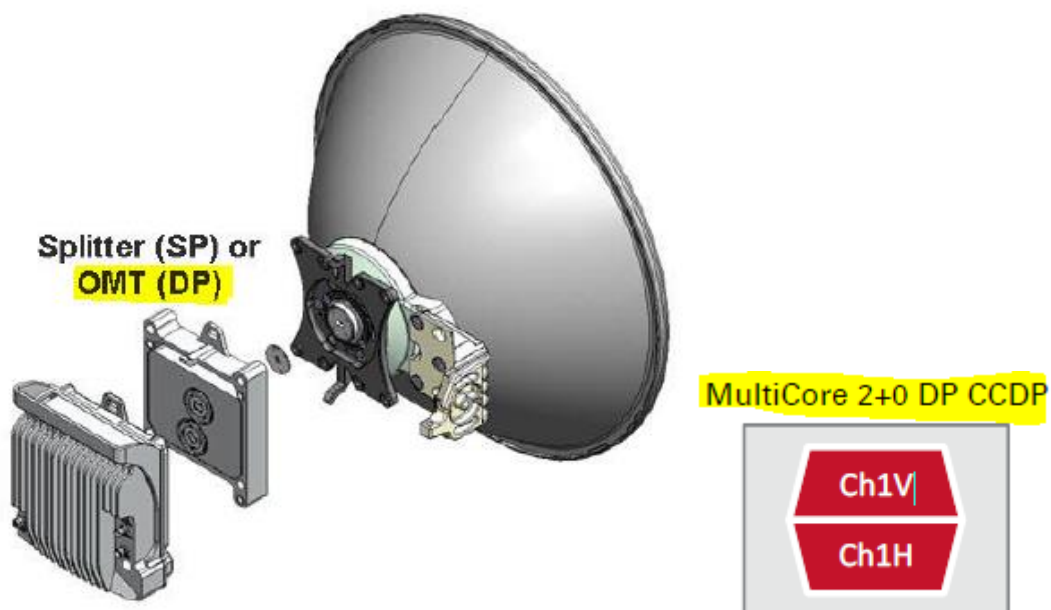
#### 5.5.4.3. Equipo de radio a utilizar para el enlace microondas

Luego del análisis de los equipos de radio microondas anteriormente mencionados, se toma la decisión de utilizar el equipo de radio Cambium PTP 820C debido a que posee mejores características en cuanto a capacidad y distancia, factores indispensables para el enlace de respaldo en estudio (Anexo F).

El modelo de radio elegido dispone de las siguientes alternativas de instalación y montaje que se pueden ver en mayor detalle en el Anexo G:

- MultiCore 2+0 con polarización simple o doble
- 2 x MultiCore 2+0 con polarización simple o doble
- MultiCore 2+2 con un Radio de StandBy en Polarización simple o doble
- 2 x 2 LoS MIMO (Dos antenas y un equipo de radio en cada extremo)
- 4 x 4 LoS MIMO (Dos antenas y dos equipos de radio en cada extremo)

Considerando el espacio disponible en las torres de comunicación y la capacidad requerida del enlace de radio se realizará el esquema de instalación MultiCore 2+0 con polarización doble y utilizando un solo canal de frecuencia para la transmisión CCDP como el indicado en la siguiente figura:



*Figura 32. Esquema de instalación del radio PTP 820C*

Para este esquema de instalación y según el análisis de factibilidad se utilizará antenas parabólicas de alto rendimiento con polarización doble con un diámetro de 6 pies de marca

Radio Waves como el mostrado en el siguiente gráfico, las especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo G:



*Figura 33. Antena Radio Waves («Radio Waves Inc.», s. f.)*

Una vez definido el equipo de radio y el esquema de instalación con la antena a utilizarse, se realiza un nuevo análisis de factibilidad definitivo con los parámetros ya establecidos:

*Tabla 8. Parámetros de configuración para el enlace microondas «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Banda de frecuencia	7 GHz
Producto	PTP07820C
Regulación	ETSI
Tipo de enlace	2+0 XPIC (CCDP)
Ancho de canal	25 MHz
Tipo de modulación	Adaptiva
Modulación máxima	512QAM
Antena	6 pies con Polarización Doble

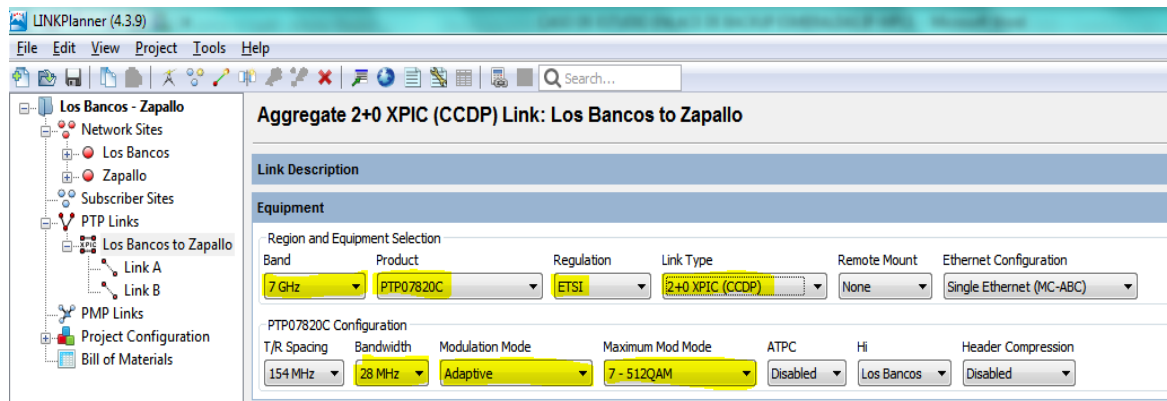


Figura 34. Link Planner PTP 820C «Elaborado por Rodrigo Tapia»

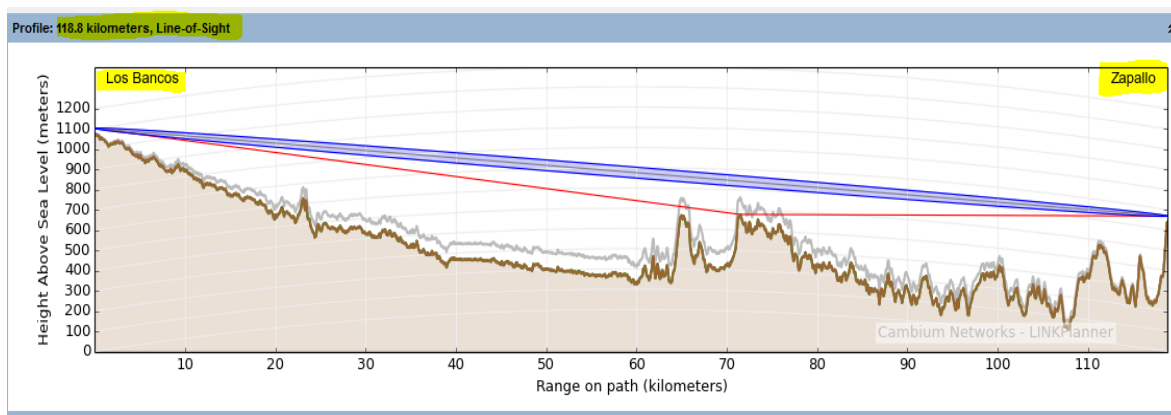


Figura 35. Link Planner PTP 820C Línea de Vista «Elaborado por Rodrigo Tapia»

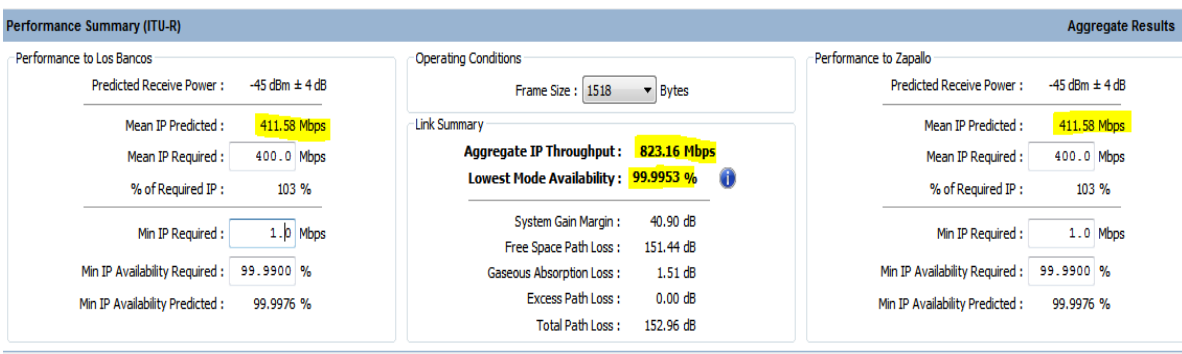


Figura 36. Link Planner PTP 820C Rendimiento del Enlace «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Para obtener estos resultados se consideró un ancho de canal de 28 MHz y una modulación máxima de 512 QAM con el fin de poder utilizar una mayor potencia de transmisión y evitar problemas en el alcance de 120 kilómetros así como también poder cumplir con la capacidad



requerida mínima de 800 Mbps agregados o 400 Mbps en el tráfico de entrada analizado en una sección anterior.

La disponibilidad del enlace según el análisis de factibilidad realizado tiene un valor del 99.9953% lo que implica un tiempo de interrupción al año de 24 minutos. Este valor de interrupción a primera vista parecería alto pero tomando en cuenta que es un enlace de respaldo, el cual será utilizado solo en caso de que el enlace principal quede fuera de servicio, es un valor aceptable para la distancia y capacidad requerida.

#### ***5.5.5. Esquema de conexión del enlace de respaldo***

Una vez realizado el diseño del enlace de respaldo se plantea el esquema de conexión dentro de la red de Telconet.

El enlace de respaldo dependerá del nodo Los Bancos, el cual está provisto de un enlace de fibra óptica desde el nodo SDH en la ciudad de Santo domingo. El nodo SDH de Santo domingo recibe su conexión principal desde la red MPLS de Quito.

El enlace microondas de respaldo que llega al nodo Zapallo estará conectado a la Metro-Ethernet de Esmeraldas mediante la ruta de Fibra Óptica de 24 hilos existente entre el nodo Zapallo y el nodo Tolita. De esta ruta de fibra óptica se tomará uno de los hilos disponibles para realizar la conexión entre el switch sw1zapallo y el switch sw2tolitabb desde el cual se tiene la conexión al ro1Esmeraldas para dar el servicio a los clientes de Esmeraldas y los cantones aledaños.

De esta ruta de fibra óptica se tomará uno de los hilos disponibles para realizar la conexión entre el switch sw1zapallo y el switch sw2tolitabb desde el cual se tiene la conexión con el router de acceso ro1Esmeraldas que permite dar el servicio a toda la Metro-Ethernet de Esmeraldas. De esta forma se evitará el gasto y el tiempo que tomaría montar una ruta de fibra óptica para la conexión del enlace de respaldo con la Metro-Ethernet de Esmeraldas.

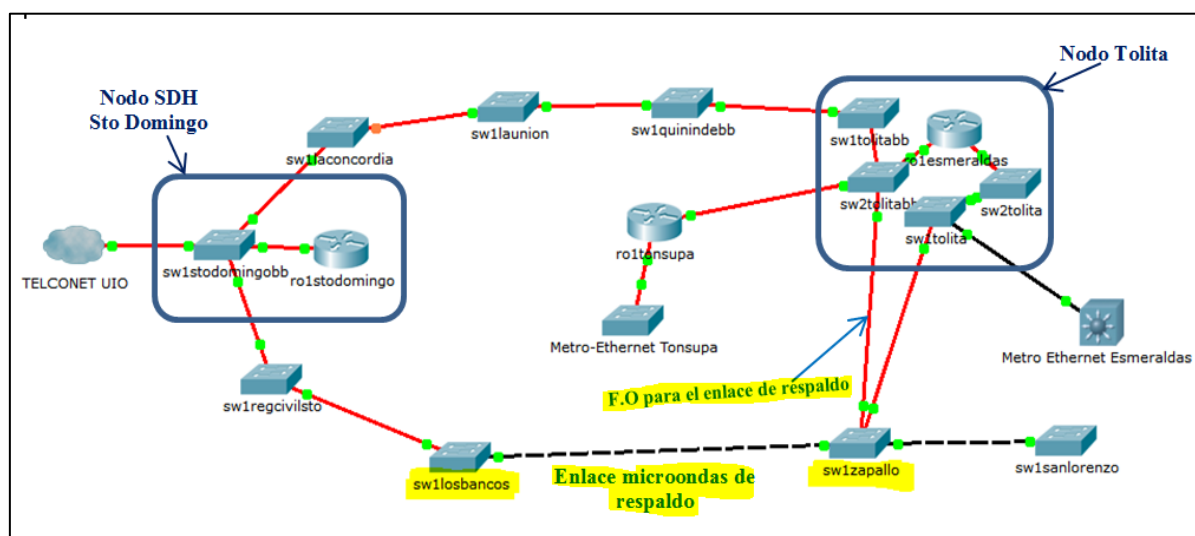


Figura 37. Esquema de Conexión del enlace microondas de respaldo «Elaborado por Rodrigo Tapia»

#### 5.5.6. Conmutación del enlace de respaldo

Para garantizar la disponibilidad del servicio en la Metro-Ethernet de Esmeraldas se requiere de un proceso de conmutación automática de tal manera que el tiempo de recuperación del servicio, al producirse un corte de la ruta principal, sea imperceptible para los usuarios.

Debido a la estructura de la Metro-Ethernet de Telconet sobre dispositivos de capa 2 (switch), al existir un anillo o un enlace de respaldo en la red, se ejecuta el protocolo SpanningTree.

Debido al funcionamiento del protocolo SpanningTree se debe realizar un análisis de los costos en cada una de las interfaces de los switch que intervienen tanto en la ruta principal como en la de respaldo, para de esta manera configurar en la interface del switch un valor de costo más alto para garantizar que la ruta por el enlace de respaldo permanecerá en StandBy con el puerto en estado Bloqueado (BLK) hasta el momento en que la ruta principal deje de operar.

También se puede realizar la configuración del SpanningTree considerando el valor de la prioridad del puerto, dando menor prioridad al puerto por el que se desea que permanezca en estado bloqueado el enlace de respaldo.

Según las pruebas realizadas en otras redes de la empresa Telconet operando con SpanningTree, se ha podido comprobar que el proceso de conmutación tarda muy pocos segundos, gracias a la conexión de alta velocidad entre cada Switch. El tiempo promedio de conmutación de las pruebas realizadas es de 2 a 3 segundos, lo que garantiza que los clientes no se verán afectados en caso de producirse un corte en la ruta principal.

#### **5.6. Presupuesto referencial para la implementación del enlace microondas**

Para obtener el siguiente presupuesto se solicitó varias cotizaciones a diferentes proveedores mayoristas de equipos de Telecomunicaciones en Ecuador. Encontrando como mejor alternativa la que presenta el siguiente detalle (Expresado en dólares):

Tabla 9. Presupuesto referencial para la implementación del enlace microondas. «Elaborado por Rodrigo Tapia»

Modelo	Descripción	Qty	Telconet Price	Price Extend
C070082B053	PTP 820C Radio 7GHz,TR154C,Ch1W2,Hi,7280.5-7339.5MHz	1	6793	6793
C070082B054	PTP 820C Radio 7GHz,TR154C,Ch1W2,Lo,7126.5-7185.5MHz	1	6793	6793
N000082L014	PTP 820 Glands_x5_KIT	2	32.72	65.44
N000082L016	PTP 820 CAT5E Outdoor 100m drum	2	376.93	753.86
N000082L017	PTP 820 Grounding Kit for CAT5e F/UTP 8mm cable	5	20.44	102.2
N000082L022	PTP 820 PoE Injector all outdoor, redundant DC input, +24VDC support	2	766.65	1533.3
N000082L027	PTP 820C Act.Key - 2nd Core Activation	2	1995	3990
N000082L048	PTP 820 Act.Key - MC-ABC, per Tx Chan	4	294	1176
N000082L073	PTP 820 GBE_Connector_kit	2	27.53	55.06
N000082L116	PTP 820 GROUND CABLE FOR IDU and ODU	2	20.44	40.88
N000082L130	PTP 820C Act.Key - Capacity 500M with ACM Enabled, per Tx Chan	4	951.65	3806.6
N070082D288	6' HP PTP800 Antenna, 7.125-8.5GHz, Dual Polarization	2	5300	10600
N070082L295	PTP 820C OMT KIT 7-8GHz	2	1300	2600
<b>TOTAL EQUIPOS Y ACCESORIOS</b>				<b>\$ 38,309.34</b>

El valor total de equipo y accesorios para implementación del enlace microondas es de **\$38,309.34 dólares**.

Este valor es el estimado para el equipamiento y accesorios del enlace microondas. A esto se debe agregar el presupuesto de viáticos y movilización del personal técnico para ejecutar la implementación del enlace microondas.

Tomando en cuenta que se requiere en cada extremo del enlace un número mínimo de cuatro personas para el montaje y alineamiento de las antenas con sus respectivos accesorios y que el tiempo que tardará la implementación del enlace sería de dos días. Se tiene el siguiente detalle:

*Tabla 10. Gastos administrativos personal técnico «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Técnicos			6
Conductores			2
Total personas			8
Gasto	USD	Días	Total
Alimentación diaria	25	3	600
Hospedaje diario	20	2	320
Movilización y Combustible	25	3	150
<b>Total viáticos y movilización</b>			<b>\$ 1,070</b>

El valor total de viáticos y movilización para la implementación del enlace microondas es de **1070 dólares**.

Para el presupuesto referencial se considera también los valores a pagar por las tarifas de concesión y uso de las frecuencias con la ARCOTEL:

*Tabla 11. Tarifa por uso de frecuencias durante dos años «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Tarifa	Valor (US\$)	Cantidad	Subtotal
Tarifa mensual por uso de frecuencias	1229.24	24	29501.76
Tarifa por derecho de concesión	923.2	1	923.2
<b>TOTAL tarifa por uso de frecuencias durante dos años (US\$)</b>			<b>30424.96</b>

El valor total por la tarifa de uso de uso de frecuencia y derecho de concesión durante dos años es de **\$30,424.96 dólares**.

En total se tiene como presupuesto referencial para la implementación del enlace microondas:

*Tabla 12. Presupuesto Referencial Total «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Descripción	Valor (US\$)
Equipos de radio y accesorios	38309.34
Viáticos y movilización del personal técnico	1070
TOTAL tarifa por uso de frecuencias durante dos años (US\$)	30424.96
<b>TOTAL EN DOLARES (US\$)</b>	<b>69,804.3</b>

En total se necesita un presupuesto referencial de **\$69,804.3 dólares** para la implementación del enlace microondas de respaldo para la Metro-Ethernet de Esmeraldas en la red de la empresa Telconet.

### **5.7. Análisis financiero**

Para determinar si la inversión en el proyecto diseñado es rentable para la empresa Telconet se realiza el análisis financiero detallado en el Anexo H.

Para el análisis se tomó en cuenta los siguientes parámetros

*Tabla 13. Parámetros para el análisis financiero «Elaborado por Rodrigo Tapia»*

Parámetro	Valor
<b>Tráfico Promedio mensual en la Metro-Ethernet de Esmeraldas</b>	400 Mbps
<b>Precio mensual promedio por Mbps</b>	50 dólares
<b>Presupuesto referencial</b>	69,804.3 dólares
<b>Participación de utilidades para trabajadores</b>	15 %
<b>Impuesto a la renta</b>	22%
<b>Depreciación anual de equipos</b>	33%
<b>Tasa de rentabilidad mínima exigida por la empresa</b>	20%
Tiempo de uso de frecuencia	24 meses

Con los parámetros indicados, se realizó el cálculo del TIR y el VAN dando como resultado:

$$\text{TIR} = 38\%$$

$$\text{VAN} = 22.272,29 \text{ dólares}$$

Se concluye que, con un valor de TIR superior a la tasa de rentabilidad mínima exigida por la empresa y un valor positivo del VAN, el proyecto es totalmente rentable.

## 6. CONCLUSIONES

- La empresa Telconet utiliza MPLS como mecanismo de transporte de datos para brindar servicios de Telecomunicaciones a todos sus clientes. Los recursos de red son utilizados de manera más eficiente gracias al soporte de calidad de servicio (QoS), ingeniería de tráfico y el uso de redes virtuales privadas.
- La red de fibra óptica aérea utilizada por la empresa Telconet está expuesta a un gran número de riesgos que pueden afectar el servicio ofrecido a los clientes, esto debido a la gran extensión de la red y al estar al alcance del público en general. A esto se suma los fenómenos naturales de la zona costera que también ponen en riesgo la ruta de fibra óptica.
- La demanda del servicio en el tráfico de entrada por parte de los clientes de la Metro-Ethernet de Esmeraldas es considerablemente mayor que el de salida. Esto es debido a que los clientes realizan descargas de información en una relación de 5 a 1 comparado con el envío de información por la red.
- Un enlace microondas es la mejor alternativa para establecer un enlace de respaldo hacia sitios muy alejados, debido al corto tiempo que toma implementarlo en comparación con las redes cableadas. A esto se suma que los riesgos de afectación son totalmente diferentes, siendo una de las características principales y objetivo de un enlace de respaldo.
- Para que sea posible establecer el enlace microondas se consideró dos sitios altos como son la ciudad de Los Bancos en Pichincha y el cerro Zapallo en Esmeraldas, entre los cuales existe línea de vista y se cuenta en cada sitio con la infraestructura de red necesaria ya implementada por Telconet como por ejemplo la torre de comunicaciones y el nodo.

- Para enlaces microondas de larga distancia, como el del presente diseño, se necesita equipos de radio de gran capacidad y tecnología de modulación avanzada. Sin embargo, debido a la distancia no es posible utilizar la capacidad más alta de modulación y throughput ofrecido por este tipo de equipos.
- El diseño del enlace inalámbrico realizado permitirá a la Metro-Ethernet de Telconet en la ciudad de Esmeraldas y sus cantones aledaños, disponer de un enlace de respaldo para cuando la ruta principal de fibra óptica sufra algún daño en cualquier punto desde Santo Domingo hasta Esmeraldas o se requiera realizar algún tipo de mantenimiento que implique la desconexión de la ruta principal. Esto garantizará que la empresa Telconet mantenga en alto la disponibilidad de los servicios de Telecomunicaciones ofrecido a sus clientes, fortaleciendo la confianza y gran prestigio como proveedor.
- El proyecto es rentable para la empresa Telconet de acuerdo a los parámetros calculados en el análisis financiero (TIR y VAN), recuperando la inversión en un periodo corto de tiempo. Se debe considerar también que el equipamiento puede ser luego utilizado en algún otro sistema similar, en caso de requerirlo.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Se puede aumentar la capacidad del enlace microondas, incorporando dos equipos de radio y sus respectivas antenas en cada extremo del enlace para utilizar el esquema 4 x 4 LoS MIMO de los equipos de radio. Con este esquema se puede alcanzar una capacidad cercana al doble de la obtenida en el actual diseño.
- Debido al excelente servicio y alta disponibilidad que ofrece un enlace de respaldo en la Metro-Ethernet de Esmeraldas, la demanda de los clientes aumentará a corto o mediano plazo llegando a ser insuficiente la capacidad de cualquier enlace



microondas de respaldo. Para esto se recomienda mantener un plan de control de consumo sobre determinados clientes, es decir, que al producirse un corte del enlace principal de Fibra Óptica se podría reducir la capacidad en el servicio de algunos clientes que mantienen un alto consumo para que, aunque con velocidad reducida, mantengan el servicio activo mientras se recupera la conexión del enlace principal de fibra óptica.

- Se recomienda también que a mediano plazo se establezca una segunda ruta diferente de conexión mediante fibra óptica para la ciudad de Esmeraldas. Esta nueva ruta podría ser por la provincia de Manabí, pasando por las ciudades de Pedernales y El Carmen hasta llegar al nodo SDH de Santo Domingo, de esta manera poder anillar por fibra óptica la Metro-Ethernet de Esmeraldas. Al ser las dos rutas por el mismo medio de transmisión, estarían expuestas a los mismos riesgos, debido a esto se mantendría el enlace inalámbrico como un segundo enlace de respaldo.

## 8. REFERENCIAS

...:Neptuno:... (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de <http://neptuno-com.com/n/ptorresa.htm>

1.8 m | 6 ft High Performance Parabolic Reflector Antenna, Dual-polarized, 7.125-7.75GHz, HPD6-7 - Radio Waves Inc. (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de <http://www.radiowaves.com/en/product/hpd6-7>

2-capitulo2.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lis/morales\\_d\\_l/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lis/morales_d_l/capitulo2.pdf)

04\_Radioenlaces\_Terrestres\_Microondas\_.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de [http://www.redtauros.com/Clases/Medios\\_Transmision/04\\_Radioenlaces\\_Terrestres\\_Microondas\\_.pdf](http://www.redtauros.com/Clases/Medios_Transmision/04_Radioenlaces_Terrestres_Microondas_.pdf)

Cálculo del VAN y TIR con Excel. (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de <http://www.zonaeconomica.com/excel/van-tir>

Espectro electromagnético - Wikipedia, la enciclopedia libre. (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de [https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro\\_electromagn%C3%A9tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico)

Instructivo completo\_ver 4 - Instructivo-completo\_ver-4.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Instructivo-completo\\_ver-4.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Instructivo-completo_ver-4.pdf)

Microsoft Word - Monografía-Ene-11.doc - Balacco\_Jose.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de [http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes\\_y\\_Seguridad/Trabajos\\_Finales/Balacco\\_Jose.pdf](http://postgrado.info.unlp.edu.ar/Carreras/Especializaciones/Redes_y_Seguridad/Trabajos_Finales/Balacco_Jose.pdf)

Microsoft Word - portada.doc - ICE59.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5860/ICE59.pdf?sequence=1>

mmtk\_wireless\_radio\_link\_calculation - 24.CalculoDeRadioenlace.pdf. (s. f.). Recuperado a partir de <http://www.analfatecnicos.net/archivos/24.CalculoDeRadioenlace.pdf>

MPLS (MultiProtocol Label Switching). (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/mpls.php>

Nothing found for Formularios-fijo-movil-terrestre. (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de <http://www.arcotel.gob.ec/formularios-fijo-movil-terrestre/>

Parámetros de una antena - Equipos de imagen. (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de <https://sites.google.com/site/equiposdeimagengmfp/1-transmision-de-television/2-antenas-de-television/parmetros-de-una-antena>

TIR y VAN: Cálculo y concepto. (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de <http://todoproductosfinancieros.com/tir-calculo-y-concepto/>

Zona de Fresnel - Wikipedia, la enciclopedia libre. (s. f.). Recuperado 23 de abril de 2016, a partir de [https://es.wikipedia.org/wiki/Zona\\_de\\_Fresnel](https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel)